

FRAKTAALIEN SOVELTAMINEN VISUALISOINNISSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Mediatekniikan koulutusohjelma
Teknisen visualisoinnin suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
10.5.2010
Sanna Keronen

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 46 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kertoa fraktaaleista ja niiden sovelluskoh-teista tietokoneavusteisessa visualisoinnissa. Työssä ei ole tarkoitus kertoa katta-vasti fraktaalien matemaattisesta taustasta, vaan pääpaino on esitellä fraktaalien sovelluskohteita.

Työn alkuosa käsittelee yleisesti fraktaaleita. Ensin selvennetään fraktaali-käsitettä ja kerrotaan fraktaaleihin liittyvistä määritelmistä. Siinä käydään läpi myös histo-riaa, jakamisesta eri ryhmiin ja tapoja, miten fraktaaleja muodostetaan.

Työn keski- eli visualisointiosuus on jaettu neljään osaan: fraktaaligrafiikka, frak-taalianimaatio, fraktaalinen maisemasuunnittelu ja fraktaalinen kuvanpakkaus. Fraktaaligrafiikka tarkoittaa kaksiulotteisella fraktaaliohjelmalla tehtyä kuvaa. Työssä esitellään näitä fraktaaliohjelmia ja kerrotaan, kuinka ne muodostavat graafisen kuvan matemaattisesta kaavasta. Työssä esitellään myös erilaisia frak-taaleista tehtyjä animaatioita ja ohjelmia, joilla fraktaalianimaatioita tehdään. Fraktaaleja hyödyntävään maisemasuunnitteluun on kehitetty omia ohjelmia, joilla saadaan luotua hyvin aidonnäköisiä maisemakuvia. Työssä kerrotaan, miten nämä ohjelmat muodostavat maanpinnat ja kasvillisuuden fraktaalien avulla. Lopuksi kerrotaan fraktaalista kuvanpakkausmenetelmästä, jossa kuva pyritään saamaan matemaattisen kaavan muotoon.

Työn loppuosa on Case-osio, ja siinä käsitellään tarkemmin kahta fraktaaleihin liittyvää ohjelmaa, jotka ovat Ultra Fractal ja Bryce. Ultra Fractal -ohjelmalla voi tehdä kaksiulotteisia fraktaalikuvia ja -animaatioita. Ohjelmalla tehdään yksityis-kohtainen työ, jossa kerrotaan, kuinka fraktaalien voi tehdä. Bryce on maisema-suunnitteluohjelma, jolla voi muodostaa kolmiulotteisia maastoja ja animaatioita.

Avainsanat: fraktaali, fraktaaligrafiikka, fraktaalianimaatio, fraktaalinen maisema-suunnittelu, fraktaalinen kuvanpakkaus

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

KERONEN, SANNA:

Fractals in visualization

Bachelor's Thesis in Visualization Engineering, 46 pages, 1 appendix

Spring 2010

ABSTRACT

This thesis deals with fractals and their applications in visualization. The thesis concentrates on four applications which are fractal graphics, fractal animation, fractal landscape and fractal compression.

The beginning of the thesis deals with fractals in general. The definition and the history of fractals are presented. This part also deals with how fractals are classified and how fractals can be generated.

The middle part of the thesis deals with the four applications. The part dealing with graphics presents fractal generating programs and how these programs generate images of fractals from the mathematical form. The part on fractal animation deals with different types of fractal animation and programs that can make fractal animations. The part dealing with fractal landscapes presents programs that use fractals to make realistic landscapes. The last part deals with fractal compression where a digital picture is converted into a mathematical form.

The end of the thesis is the case study where two programs, Ultra Fractal and Bryce, are presented. Ultra Fractal is a fractal generating and rendering software application. Bryce is a 3D modelling, rendering and animation program specializing in fractal landscapes. There is also a step-by-step presentation of how to make a fractal in Ultra Fractal.

Key words: fractal, fractal graphics, fractal animation, fractal landscape, fractal compression

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	FRAKTAALIT	2
2.1	Määritelmiä	2
2.2	Historia	3
2.3	Jako	8
2.4	Fraktaalien muodostaminen matemaattisesta kaavasta	10
3	FRAKTAALIGRAFIIKKA	14
3.1	Yleistä	14
3.2	Fraktaalien luontiohjelmat	15
3.2.1	Kuvan luominen	15
3.2.2	Ohjelmien perusominaisuudet	16
3.2.3	Ohjelmien esittely	17
4	FRAKTAALIANIMAATIO	19
4.1	Yleistä	19
4.2	Ohjelmien esittely	20
5	FRAKTAALINEN MAISEMASUUNNITTELU	20
5.1	Yleistä	20
5.2	Fraktaalisen maiseman mallinnusohjelmat	21
5.2.1	Ohjelmien esittely	21
5.2.2	Maiseman luominen	23
6	FRAKTAALINEN KUVANPAKKAUS	27
6.1	Menetelmä	27
6.2	Historia	27

7	CASE: ULTRA FRACTAL JA BRYCE.....	28
7.1	CASE-osion kuvaus.....	28
7.2	Ultra Fractal	29
7.2.1	Ohjelman arviointi	29
7.2.2	Fraktaalityö	30
7.3	Bryce.....	37
8	YHTEENVETO.....	39
	LÄHTEET	41
	Haastattelulähteet.....	41
	Painetut lähteet.....	41
	Painamattomat lähteet.....	41
	Sähköiset lähteet	42
	Kuvalähteet	44
	LIITTEET	47

1 JOHDANTO

Fraktaaleja tunnettiin jo 1800-luvulla luonnosta löytyvien fraktaalien vuoksi. Tietokoneiden kehittyttyä tarpeeksi 1980-luvulla fraktaaleja alettiin tutkia tarkemmin ja soveltaa eri aloilla. Vaikka fraktaalit olivat suosituimmillaan juuri 1980-luvulla, ovat fraktaalit edelleen hyvin suosittu tutkimuksen kohde. Fraktaaleja hyödynnetään monilla tieteen, tekniikan ja taiteen aloilla. Toisinaan järjestetään fraktaalinäyttelyitä ja digitaalisen taiteen kilpailuja, joihin osallistuu fraktaalitaitelijoita. Mikään fraktaaleihin liittyvä tutkimus ei kuitenkaan ole ylittänyt uutiskynnystä, mikä voi johtua siitä, etteivät fraktaalit ole suurelle yleisölle kovin kiinnostava aihe.

Fraktaaleja tutkinut insinööri Homer Smith kiteytti asian osuvasti: ”Jos pidät fraktaaleista, se johtuu siitä, että sinut on tehty niistä. Jos et siedä fraktaaleja, se johtuu siitä, ettet siedä itseäsi.” Koska ihminen on tehty fraktaaleista, on luonnollista, että ihminen on myös kiinnostunut niistä.

Työ on kirjoitettu, koska fraktaalien visuaalisista sovelluskohteista on tietoa hyvin hajanaisesti eikä yksikään tutkimus tai teos ole kovin kattava. Lisäksi fraktaaleista on kirjoitettu vain hyvin vähän suomeksi eikä fraktaaleja käsitteleviä teoksia ole juurikaan suomennettu. Työssä esitetään fraktaalien eri visuaaliset sovellusalueet ja pyritään kertomaan niistä monipuolisesti.

2 FRAKTAALIT

2.1 Määritelmiä

Fraktaaleille ei ole täsmällistä tai kaikenkattavaa määritelmää, mutta erään luokituksen mukaan, jos tason kuviossa toistuvat samat tai samankaltaiset muodot äärettömästi eri mittakaavoissa, on kyse fraktaalista (Härkönen 2009). Toisin sanoen tason kuvio voidaan jakaa pienempiin osiin, joista jokainen on alkuperäisen kuvion kopio. Tätä ominaisuutta kutsutaan itsesimilaarisuudeksi. Fraktaalit ovat geometrisia muotoja, joiden avulla voidaan mallintaa monia luonnon ilmiöitä, joita ei perinteisellä geometrialla voida kuvata. (Fractal 2009.)

Fraktaalien tason määritelmää voidaan käyttää myös tarkasteltaessa reaalimaailman kappaleiden tai 3D-mallien fraktaalisuutta. Ainoa poikkeus on se, että reaalimaailman kappaleita ei voi tutkia äärettömästi eri mittakaavoissa. Viimeistään atomitasolla tarkastelu tulisi mahdottomaksi. (Rantanen 2001 - 2003.)

Eräs helppo tapa ymmärtää fraktaalien itsesimilaarisuus on tarkastella Sierpinskiin kolmiota. Alkuperäinen tasasivuinen kolmio jaetaan neljällä pienemmällä kolmiolla, joiden sivujen pituudet ovat puolet alkuperäisestä. Näin syntyneet kolme oikeinpäin olevaa kolmiota jaetaan taas uusilla pienemmillä kolmioilla. Tätä jatketaan, kunnes ollaan viidennessä vaiheessa, vaikka prosessia voisikin jatkaa loputtomiin. Viidennessä vaiheessa nähdään, että alkuperäisen kolmion yläosa on edellisen vaiheen täydellinen kopio, mutta eri mittakaavassa (kuva 1). (Seppänen 2002, 2 - 3.) Yhtä muutosta kutsutaan nimellä iteraatio.



Kuva 1. Sierpinskiin kolmio, jossa itsesimilaarisuus näkyy selvästi.

Kaikki fraktaaleita muistuttavat oliot eivät kuitenkaan ole fraktaaleja. Vaikka suora viiva on itsesimilaarinen, se ei ole fraktaali, sillä se on tarpeeksi säännöllinen, jotta sen voi määrittää perusgeometrian avulla. (Fractal 2009.) Ihmisten suunnitte-

lemat rakennelmat ja esineet muodostuvat yksinkertaisista ja säännöllisen muotoisista osista, jolloin nekään eivät ole fraktaaleja. Myös ympyrän kehä alkaa muistuttaa enemmän suoraa viivaa, kun sitä suurennetaan (kuva 2). Lopulta tarpeeksi suurennettuna kehä on täysin suora. Tämä on täysin ristiriidassa fraktaaligeometri-an kanssa, joka pyrkii säilyttämään objektin alkuperäisen muodon myös suurennettaessa. (Weckman 2006, 8.)



Kuva 2. Ympyrää suurennettaessa sen kehä alkaa muistuttaa suoraa viivaa.

Fraktaali on siis geometrinen muoto, joka eroaa euklidisesta geometriasta monella tavalla. Fraktaaligeometria on varsin uusi keksintö, kun taas euklidinen geometria on yli 2000 vuotta vanha. Euklidinen geometria perustuu kokoon ja mittakaavaan, ja se sopii ihmisen luomille objekteille. Fraktaaligeometrialla ei ole kokoa eikä mittakaavaa, ja se sopii kuvaamaan luonnosta löytyviä muotoja. Euklidista geometriaa kuvataan kaavoilla, esimerkiksi $r^2 = x^2 + y^2$, kun fraktaaleita kuvataan algoritmeilla, joita toistetaan uudelleen ja uudelleen. (Peitgen & Saupe 1988, 26.)

Fraktaaleita tutkittaessa löytää usein yhteyksiä kaaosteoriaan. Kaaosteoria käsittelee dynaamisia systeemeitä, jotka ovat herkkiä muutoksille systeemin alkutilassa. Tällainen systeemi on esimerkiksi perhosvaikutus, jossa perhosen siivenisku voi saada aikaan myrskyn toisella puolella maapalloa. Systeemin lopputulosta ei voida ennustaa systeemin alkutilasta. Fraktaaleihin kaaosteoria liittyy siten, että fraktaaleja tuottavat dynaamiset systeemit ovat kaoottisia. (Härkönen 2009.)

2.2 Historia

Fraktaaleja tunnettiin jo 1800-luvulla luonnosta löytyvien fraktaalien vuoksi. Fraktaalien matematiikka alkoi hahmottua 1800-luvulla, kun saksalainen matemaatikko ja filosofi Gottfried Leibniz mietti rekursiivista itsesimilaarisuutta, vaik-

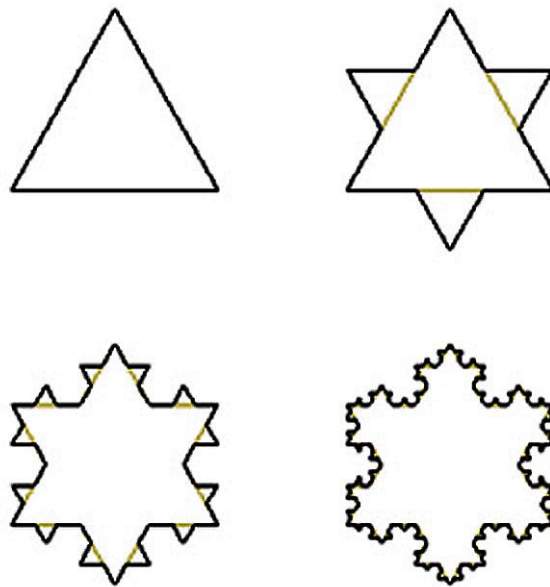
ka erehtyikin ajatellessaan, että vain suora viiva olisi itsesimilaarinen. (Fractal 2009.)

Saksalainen matemaatikko Georg Cantor näytti esimerkkejä suoran viivan osajoukosta, jolla oli epätavallisia ominaisuuksia (Fractal 2009). Tämä Cantorin joukko si nimetty joukko esitettiin vuonna 1883 ja tunnustetaan nykyään fraktaaliksi, vaikka se muodostetaankin suorista viivoista. Cantorin joukko (kuva 3) voidaan rakentaa janasta, joka jaetaan kolmeen yhtä pitkään osaan ja josta poistetaan keskimäinen kolmannes. Jäljelle jääneistä janoista poistetaan jälleen keskeltä kolmannes. Näin voidaan jatkaa äärettömän monta kertaa, jolloin jäljelle jää outo pisteiden muodostama joukko. (Cantorin joukko 2009.)



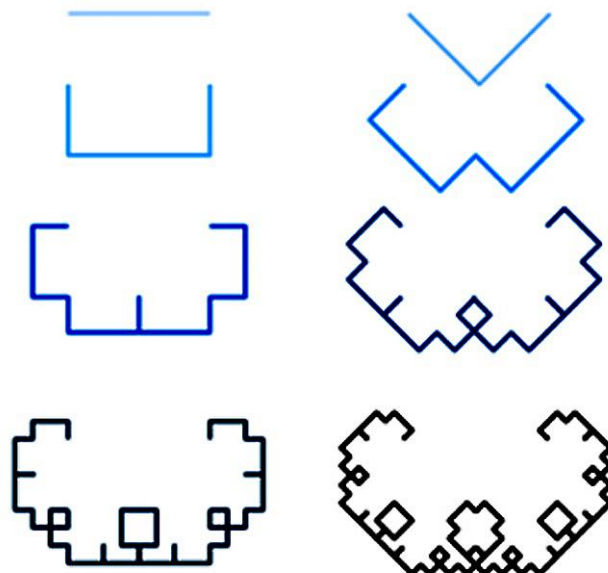
Kuva 3. Cantorin joukko.

Vuonna 1904 ruotsalainen matemaatikko Helge von Koch keksi käyrän, joka nykyään tunnetaan nimellä Kochin käyrä tai Kochin lumihiutale (kuva 4). Se saadaan rakennettua aloittamalla tasasivuisesta kolmiosta. Kolmion sivujana jaetaan kolmeen yhtä suureen osaan, joista keskimäinen korvataan pienemmällä kolmiolla, josta kanta puuttuu. Uusi kolmio laitetaan kärki ulospäin, jolloin saadaan kuusisakarainen tähti. Tätä menetelmää voidaan taas jatkaa loputtomiin, mutta jo neljännessä vaiheessa nähdään, että kuvio muistuttaa lumihiutalletta. Kuvasta tulee sitä tarkempi, mitä enemmän iteraatioita tehdään. (Mattila 2005.)



Kuva 4. Kochin lumihiutale.

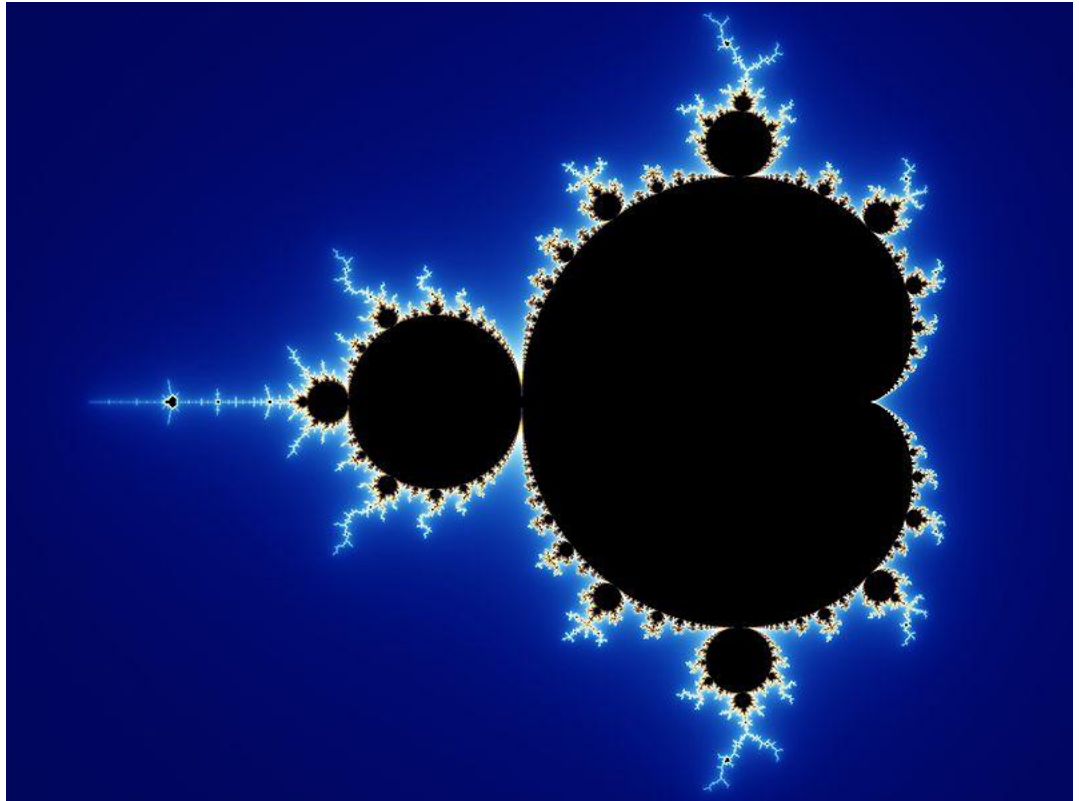
Puolalainen matemaatikko Wacław Sierpiński keksi Sierpinskiin kolmion vuonna 1915. Paul Pierre Lévy vei itesesimilaarisuuden pidemmälle raportissaan vuonna 1938 tutkiessaan uutta fraktaalikäyrää, Lévy C -käyrää (kuva 5). (Fractal 2009.)



Kuva 5. Lévy C -käyrän kahdeksan ensimmäistä iteraatiota.

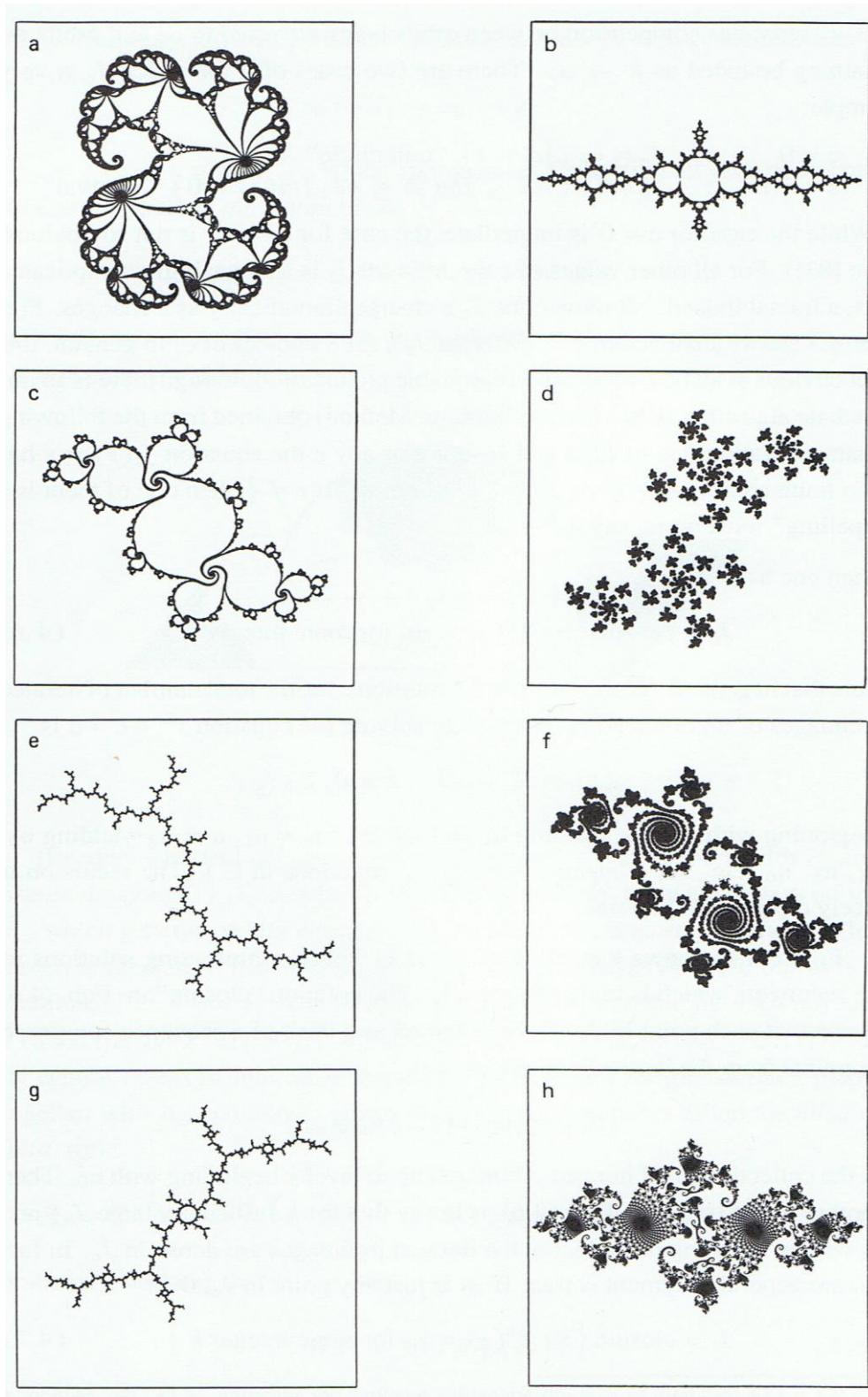
1960-luvulla ranskalais-amerikkalainen matemaatikko Benoît Mandelbrot alkoi tutkia itesesimilaarisuutta ja erityisesti kompleksilukujonoa $Z_0 = 0$, $Z_{n+1} = Z_n^2 + c$.

Vuonna 1975 Mandelbrot keksi sanan fraktaali ja sen teorian. Termi on johdettu latinan sanasta fractus, joka tarkoittaa rikottua tai murtunutta. (Fractal 2009.) Mandelbrotin joukkoa pidetään matematiikan monimutkaisimpana oliona eikä Mandelbrot itsekään ollut aluksi uskoa tietokoneen antamia tuloksia. Mandelbrot visualisoi tätä matemaattista määritelmää tietokoneen avulla vuonna 1980 (kuva 6). Nämä kuvat herättivät suuren suosion. (Mattila 2005.)



Kuva 6. Mandelbrotin joukko.

Ranskalainen matemaatikko Gaston Julia tutki Julian joukkoa vuonna 1915, mutta joukko tuli tunnetuksi vasta, kun hänen oppilaansa Mandelbrot alkoi tutkia sitä tarkemmin 1980-luvulla (kuva 7). Julian joukkoja saadaan muodostettua samasta kaavasta kuin Mandelbrotin joukkoja. (Julia set 2009.)



Kuva 7. Julian joukot ovat monimuotoisia.

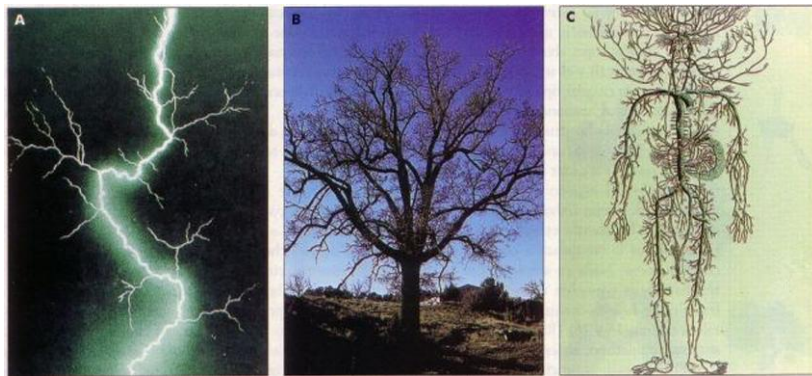
Nykyään fraktaalreja sovelletaan monilla tieteen ja taiteen aloilla. Sovelluskohteita löytyy niin taloustieteestä, fysiikasta, kemiasta, biologiasta, lääketieteestä, tietoli-

kennetekniikasta kuin meteorologiastakin. Samaan aikaan fraktaaleista ovat kiinnostuneet graafikot, muusikot ja elokuvantekijät. (Fractal 2009.)

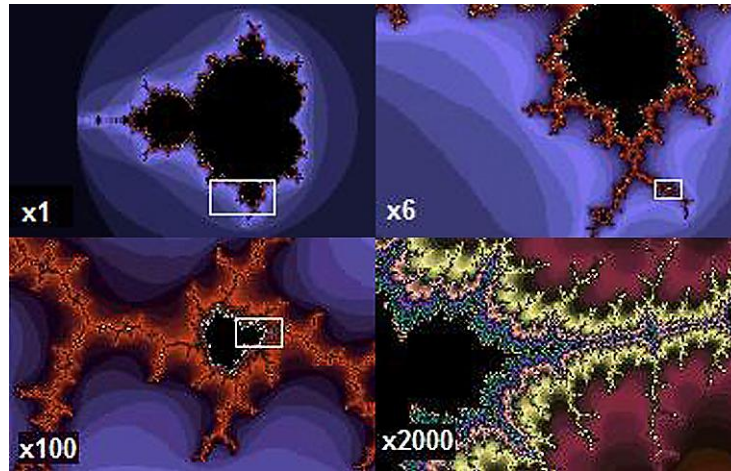
2.3 Jako

Tässä työssä fraktaalit on jaettu luonnosta löytyviin fraktaaleihin ja matemaattisilla algoritmeilla muodostettuihin käyriin. Lisäksi esitellään, miten matemaattiset fraktaalit voidaan jakaa ja miten fraktaalit jaetaan generointitekniikan mukaan.

Luonnosta löytyviä fraktaaleja ovat muun muassa puiden oksistot, joet haarautuvine sivujokineen, rantaviivat, vuorijonot, pilvet, lumihiihtaleet, kristallit, salamat, verisuonistot ja saniaiset (kuva 8). Erona luonnosta löytyville fraktaaleille ja matemaattisesti muodostetuille fraktaaleille on se, että luonnon fraktaalit muuntuvat satunnaisesti ja ovat äärellisiä, jolloin niiden fraktaalisuus ei jatku loputtomiin. Luonnon rajat tulevat vastaan viimeistään atomitasolla. Säännöllisiä ja äärettömiä, eli niin sanottuja täydellisiä fraktaaleja, on olemassa vain matematiikassa ja vain tällaiset fraktaalit säilyttävät yksityiskohtaisuutensa suurennettaessa kuviota (kuva 9). (Rantanen 2001 - 2003.)

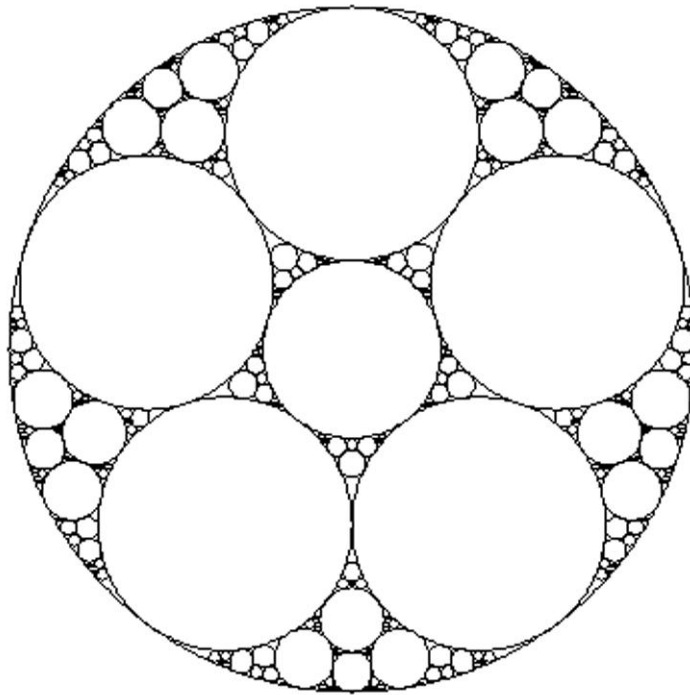


Kuva 8. Esimerkkejä luonnosta löytyvistä fraktaaleista ovat muun muassa salamat, puiden oksistot ja verisuonistot.



Kuva 9. Matemaattisten fraktaalien yksityiskohtaisuus säilyy suurennettaessa.

Matemaattiset fraktaalit voidaan jakaa itsensäkaltaisiin fraktaaleihin (self-similar fractals), osittain muuntuviin fraktaaleihin (self-affine fractals) ja säännöllisiin fraktaalijoukkoihin (invariant fractal sets). Itsensäkaltaiset fraktaalit koostuvat osista, jotka näyttävät koko objektilta pienoiskoossa, esimerkiksi Mandelbrotin ja Julian joukot. Osittain muuntuvissa fraktaaleissa jokin ominaisuus tai suhde säilyy muiden muuttuessa, esimerkiksi Cantorin joukko. Säännölliset fraktaalijoukot muodostetaan epälineaarisilla muunnoksilla, ja niihin kuuluvat neliöön korottuvat fraktaalit (self-squaring fractals) ja käänteisfraktaalit (self-inverse fractals) (kuva 10). (Fraktaalien luokittelu 1999.)



Kuva 10. Apollonian joukko on eräs käänteisfraktaali.

Fraktaalit voidaan jakaa myös generointitekniikan mukaan neljään eri luokkaan: rekursiivinen konstruktio, iteroiva systeemi, kehälaskentasysteemi ja yhden askeleen synteesi. Rekursiivista konstruktioa käytetään vuorten ja pilvien kuvaamiseen. Yhden askeleen synteesiä käytetään maaston ja pilvien luomiseen väreistä riippuen. (Länsimies 2009, 3.)

2.4 Fraktaalien muodostaminen matemaattisesta kaavasta

Matemaattisia fraktaaleja muodostetaan matemaattisten kaavojen avulla. Matemaattisia fraktaaleja ovat esimerkiksi Mandelbrotin joukko ja Julian joukko. Näiden matemaattiset kaavat ovat: $Z_0 = 0$, $Z_{n+1} = Z_n^2 + c$ ja $z^2 + c$. Fraktaaleja voi muodostaa myös kynän ja paperin avulla, mutta yleensä fraktaalit lasketaan tietokoneella, sillä fraktaaligeometria vaatii paljon laskemista. (Weckman 2006, 4 - 7.)

Yleisesti matemaattiset fraktaalit muodostetaan niin sanotussa iteratiivisessa prosessissa, missä yhden yhtälön tulosta käytetään toisen yhtälön syötteenä. Toisin sanoen sama algoritmi toistetaan useasti, jolloin saadaan geometrinen kuvio. Fraktaali on siis matemaattinen kaava graafisessa muodossa. Yhtälön kaava määrittää

fraktaalien muodon, mutta lopulliseen ulkonäköön vaikuttaa myös värimäärittelykset ja muut kuvankäsittelymenetelmät. (Mitchell 2002.)

Fraktaalien muodostamiseen tarvitaan ohjelmointitaitoja, sillä ohjelmat eivät sisällä valmiina helppoa ominaisuutta, johon vain lisättäisiin fraktaalien kaava. Esimerkiksi Julian joukon muodostaminen Ultra Fractal -ohjelmassa vaatii seuraavan koodin:

```

Julia {
init:
    z = #pixel
loop:
    z = z^@power + @seed
bailout:
    |z| <= @bailout
default:
    title = "Julia"
    helpfile = "Uf*.chm"
    helptopic = "Html\formulas\standard\julia.html"
$IFDEF VER50
    rating = recommended
$ENDIF
    param seed
        caption = "Julia seed"
        default = (-1.25, 0)
        hint = "Use this parameter to create many different Julia sets."
    endparam
    param power
        caption = "Power"
        default = (2,0)
        hint = "This parameter sets the exponent for the Julia formula. \
            Increasing the real part to 3, 4, and so on, will multiply the \
            symmetry of the Julia figure. Use (2, 0) \
            for the standard Julia set."

```

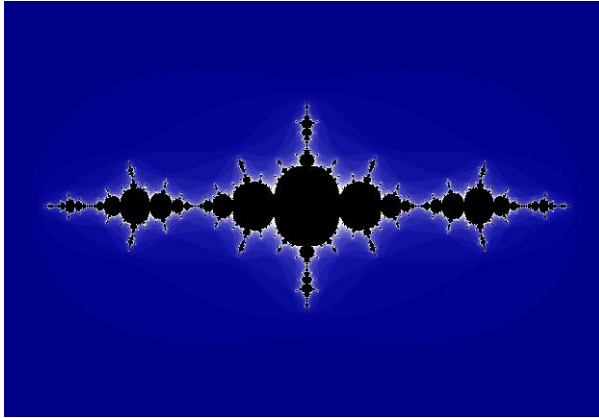


```

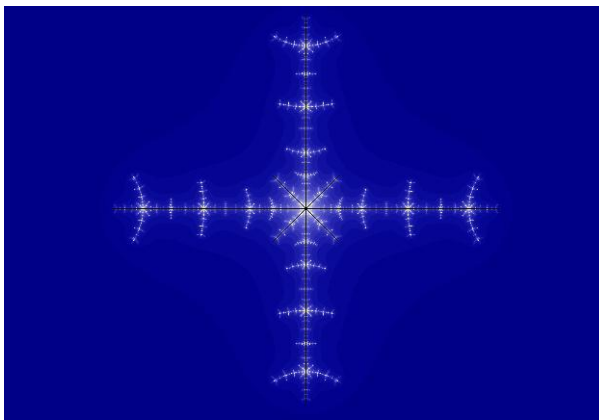
endparam
param bailout
  caption = "Bailout value"
  default = 4.0
  min = 1.0
$IFDEF VER40
  exponential = true
$ENDIF
  hint = "This parameter defines how soon an orbit bails out while \
        iterating. Larger values give smoother outlines; values \
        around 4 give more interesting shapes around the set. Value \
        less than 4 will distort the fractal."
endparam
switch:
  type = "Mandelbrot"
  power = power
  bailout = bailout
}

```

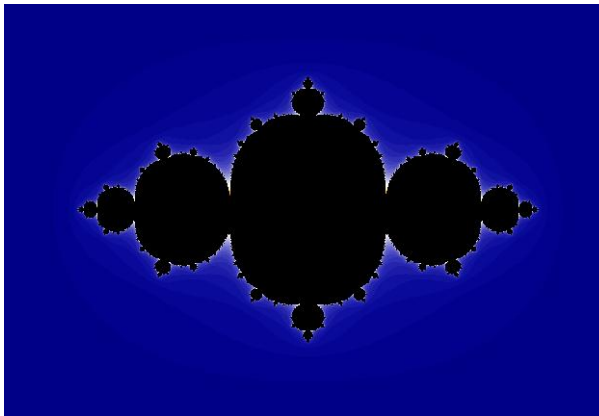
Koodi siis käy läpi Julian joukon kaavaa: z^2+c . Koodissa kerrotaan joukon oletusarvot, joilla standardi Julian joukko syntyy (kuva 11). Muuttamalla arvoja saadaan fraktaalien muotoa muutettua (kuva 12 ja kuva 13). Väreihin ja muihin ominaisuuksiin vaikutetaan samalla periaatteella, mutta eri koodeilla. Ohjelmat on suunniteltu yleensä siten, että kaikkia muutoksia voi muuttaa graafisessa käyttöliittymässä, jolloin fraktaalien muokkaaminen on helppoa. Uuden kaavan lisääminen taas on hyvin vaikeaa.



Kuva 11. Standardin Julian joukon power-arvo on 2 ja seed-arvo -1.25.



Kuva 12. Power-arvo on 4 ja seed-arvo pysyy standardina.



Kuva 13. Seed-arvo on -0.75 ja power-arvo pysyy standardina.

3 FRAKTAALIGRAFIikka

3.1 Yleistä

Fraktaalien luontiohjelmat on suunniteltu niin, että niitä voi käyttää, vaikkei olisi-kaan kiinnostunut tai tietoinen fraktaalien matemaattisesta taustasta. Ohjelmat sisältävät lukuisia matemaattisia kaavoja valmiina. Syvemmin matematiikkaan perehtyneillä käyttäjillä on mahdollisuus kehittää ja lisätä itse kaavoja, jolloin haluttujen kuvien luominen onnistuu helpommin. Suurin osa ohjelmista on suunnattu aloittelijoille, mutta osa ohjelmista on tarkoitettu syvempään fraktaalimate-
matiikkaan perehtyneille.

Koska fraktaalien luontiohjelmilla voi kuka tahansa tehdä fraktaalitaidetta, on ristiriitaa aiheuttanut kysymys siitä, onko fraktaalitaidetta taidetta. Fraktaalitaidteen vastustajat perustelevat väitettään sillä, että tietokone tekee kaiken työn, ei taiteili-
ja. Fraktaalitaidteen puolustajat puolestaan sanovat, että vaikka työ tehdään koneel-
la, taiteilija määrittää työn suunnan. Valitsemalla erilaisia fraktaalifunktioita ja muokkaamalla niiden parametreja saadaan luotua omaperäistä taidetta. Samoin kuin millä tahansa taiteen alalla, myös fraktaalitaidteessa on puolia, joita eivät aloit-
telijat tiedä, ja näin ollen he eivät menesty fraktaalitaidteen tekemisessä.

Fraktaalitaidte on luonteeltaan usein kokeellista ja siinä pyritään puhtaimmillaan minimoimaan kuvankäsittelyohjelmien käyttöä jälkiprosessoinnissa. Oma taiteen-
alansa on myös nimenomaan jälkiprosessoinnin avulla tehtävä fraktaalitaidte, jossa apuna voidaan käyttää monia ohjelmia kuvankäsittelyohjelmien lisäksi. Esimer-
kiksi Ultra Fractal -ohjelmalla luotu kuva eräästä Julian joukosta voidaan Terra-
gen-maasto-ohjelmalla muuttaa maastokuvaksi, jolloin saadaan Julian joukko
näyttämään saarirykelmältä. Photoshop-ohjelmalla kuvaan voidaan vielä tehdä
lopulliset säädöt ja lisätä esimerkiksi vene (kuva 14). (Monnerot-Dumaine 2007.)



Kuva 14. Eräs Julian joukko renderöitynä maastoksi Terragen-ohjelmalla.

Fraktaaligrafiikkaa käytetään muun muassa näytönsäästäjissä, näyttöjen taustakuvin ja lukuisissa internetistä löytyvissä kuvagallerioissa. Monissa digitaalisen taiteen näyttelyissä on usein fraktaalitaidetta esillä ja myös kilpailuja järjestetään fraktaalitaiteen tekijöille, esimerkiksi vuonna 2007 pidettiin Benoit Mandelbrot Fractal Art Contest -kilpailu.

3.2 Fraktaalien luontiohjelmat

3.2.1 Kuvan luominen

Fraktaalien luontiohjelmat muodostavat graafiset kuvat siten, että matemaattiset algoritmit toistetaan useasti eli niin sanotusti iteratiivisesti. Seuraavaksi tarkastellaan tarkemmin, miten matemaattisten kaavojen purkaminen graafiseksi kuvaksi tapahtuu fraktaalien luontiohjelmilla.

Aluksi kuvan ajatellaan koostuvan pienistä neliöistä, kuten pikseleistä ruudulla. Jokainen ruutu varustetaan kompleksiluvulla. Tämä luku syötetään yhtälöön, josta

saadaan jokin tulos. Tulos syötetään uudelleen yhtälöön, jolloin saadaan uusi tulos. Tämä tuottaa pitkän sarjan tuloksia, yksi sarja kuvan jokaiselle ruudulle. Nämä sarjat kokonaisuutena mahdollistavat perusrakenteen fraktaalille. Tuottaakseen oikean värillisen kuvan nämä sarjat syötetään toiseen yhtälöön, joka tulkitsee sarjat tietyllä tavalla ja tuottaa yhden arvon jokaiselle sarjalle ja jokaiselle ruudulle. Nämä arvot tuottavat värit jokaiselle ruudulle muodostaen värillisen kuvan. Tällä tavalla voidaan muodostaa tuhansista eri yhtälöistä tuhansilla eri tavoilla sarjoja värien ja kuvien muodostamiseen. (Jones 2003.)

Fraktaalien laskeminen vaatii todella paljon työtä. 640 x 480 pikselin kokoinen kuva sisältää yli 300 000 pistettä. Jokainen pisteistä voidaan joutua laskemaan jopa tuhat kertaa kyseisen fraktaalien kaavalla, jolloin laskutoimituksia voi tulla yhteensä jopa 300 miljoonaa. Suuremmat kuvat vaativat vielä enemmän laskutoimituksia. (Jones 1996 - 2004.)

3.2.2 Ohjelmien perusominaisuudet

Fraktaalien luontiohjelmien yleisimmät ominaisuudet ovat kaavakirjastot, interaktiivinen kuvan suurennos, mahdollisuus tallentaa tiedosto JPEG-, TIFF- tai PNG-muodossa ja mahdollisuus tallentaa parametrit omiin tiedostoihin, jolloin aiemmin luotua kuvaa on helppo muokata ja tutkia uudelleen. (Fractal-generating software 2009.)

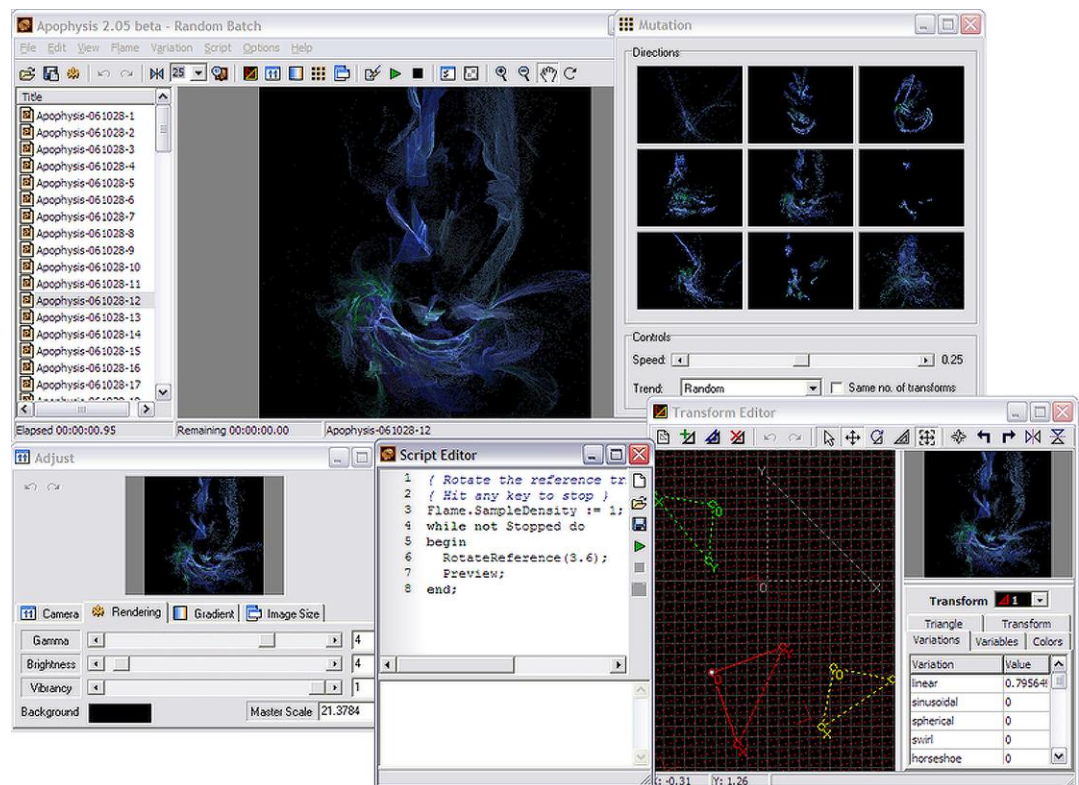
Monissa ohjelmissa voi syöttää omia kaavoja, mikä mahdollistaa paremman fraktaalien hallinnan. Myös väri-renderöintiin, suodattimien käyttöön ja muihin kuvamanipulaatiotekniikoihin, kuten kuvan kääntämiseen, voi vaikuttaa. Joissain ohjelmissa voi luoda generoiduista fraktaaleista animaation tai 3D-kuvia lisäämällä 2D-kuviin korkeuskäyrän. (Fractal-generating software 2009.)

Joitain standardeja grafiikkaohjelmia, esimerkiksi The GIMP, jotka sisältävät tietyt liitännät tai suodattimet, voidaan käyttää fraktaalien luomiseen. Monia fraktaaliohjelmia voidaan käyttää yhdistämällä niitä kuvankäsittelyohjelmien kanssa. Näin saadaan luotua monimutkaisempia kuvia. (Fractal-generating software 2009.)

3.2.3 Ohjelmien esittely

Fraktaalien luontiohjelmaa on monenlaisia, niin ilmaisia kuin kaupallisiakin. Tässä työssä on esitelty käytetyimmät ja suosituimmat ohjelmat aakkosjärjestyksessä.

Apophysis on avoimen lähdekoodin ohjelma Windows-alustalle, jolla suunnitellaan ja renderöidään niin sanottuja fraktaaliliekkettä (fractal flames). Fraktaaliliekit ovat tietyillä algoritmeilla tehtyjä fraktaaleja. Ohjelman suunnitteli Mark Townsend, mutta fraktaaliliekit on alun perin kehittänyt Scott Draves vuonna 1992. Ohjelmassa on monia ominaisuuksia fraktaalien luomiseen ja muokkaamiseen sekä siinä on suhteellisen yksinkertainen käyttöliittymä. Transform-editorissa voi muuttaa suoraan kolmioita, joista fraktaali muodostuu. Mutation-ikkunassa voi valita satunnaisista muodoista sopivan. Adjust-ikkunassa voi säätää kuvan värejä ja kokoa. Ohjelmassa on myös Script-editori, jolla pääsee suoraan käsiksi fraktaalien komponentteihin (kuva 15). (Apophysis 2009.)

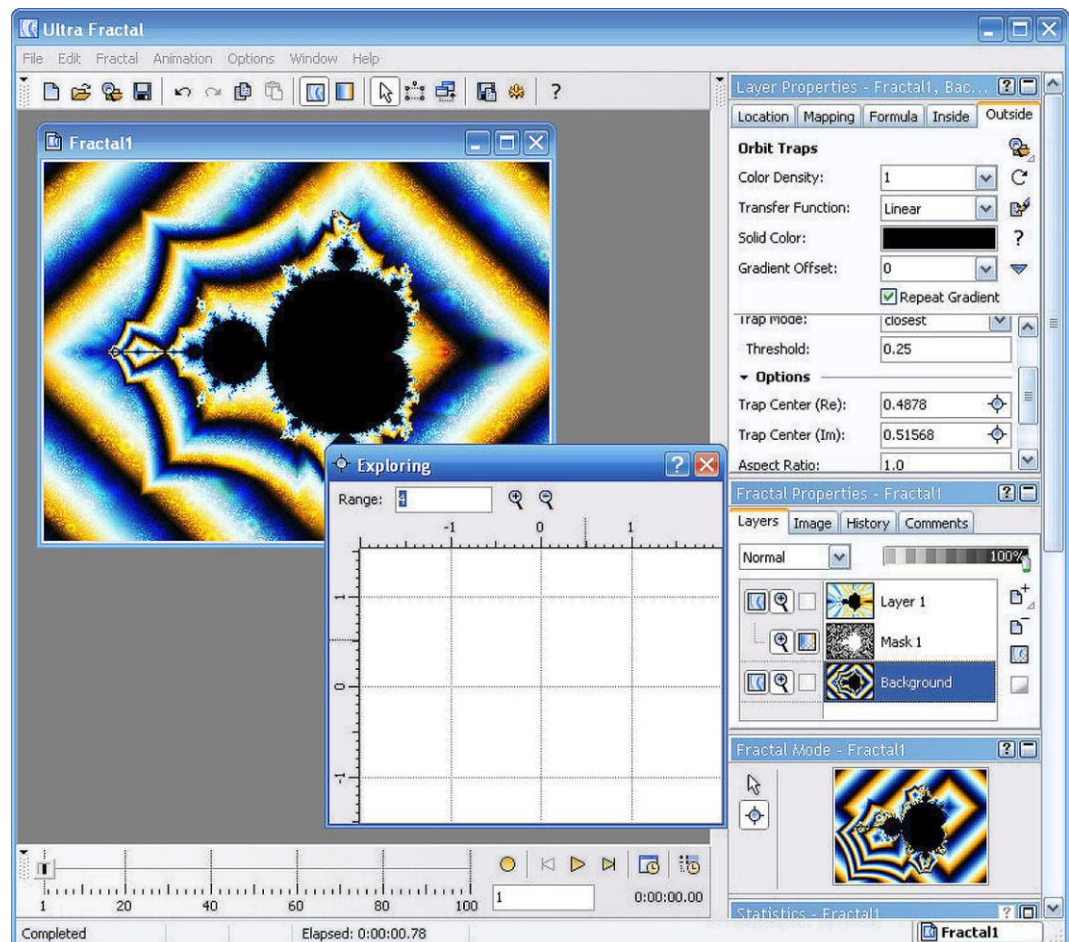


Kuva 15. Apophysis-ohjelman editorit.

ChaosPro on reaaliaikainen ja ilmainen fraktaalien luontiohjelma Windows-alustalle. Se tukee monia fraktaalityyppejä niin kaksi- kuin kolmiulotteisena ja niiden lisäksi se tukee animaatioita. ChaosPro on yhteensopiva Fractint- ja Ultra Fractal -ohjelmien kanssa. (ChaosPro 2009.)

Fractint on yksi vanhimmista ilmaisista ohjelmistopaketeista, joka renderöi ja piirtää suurinta osaa kirjallisuudessa esiintyvistä fraktaaleista. Ensimmäinen versio ilmestyi vuonna 1988 nimellä Fract386 MS-DOS-alustalle. Sittemmin ohjelma on käännetty UNIX/X- ja Windows-alustoille. Uusin versio päivitettiin vuonna 2008. (Fractint 2009.)

Ultra Fractal on kaupallinen fraktaalien luonti- ja renderöintiohjelma Windows-alustalle. Ohjelman erikoisuutena on Photoshop-tyylinen tasojen käyttö, joka mahdollistaa Blend-ominaisuuden ja kuvamanipulaation (kuva 16). Muihin ominaisuuksiin kuuluu muun muassa koko näytön tila, värien kierrättäminen, jaetut renderöintilaskennat ja yksityiskohtaiset Help-tiedostot. Versiosta 4 lähtien ohjelma on tukenut animaatioita ja parantanut fraktaaliliikkien renderöintiä. (Ultra Fractal 2009.)

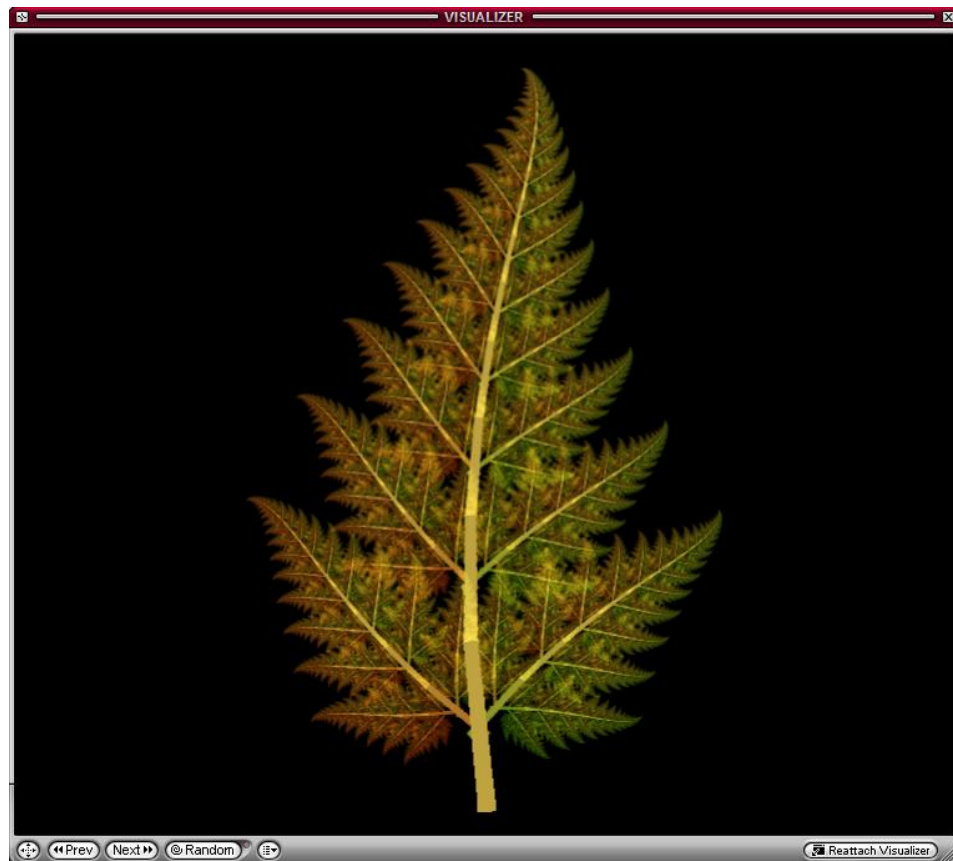


Kuva 16. Ultra Fractal -sovelluksen erikoisuutena on tasojen käyttö.

4 FRAKTAALIANIMAATIO

4.1 Yleistä

Fraktaaleista tehty animaatio voi olla suurennosvideo (zoom movie), kaksiulotteinen video tai 3D-maisemasta tehty video (kuva 17). Suurennosvideoita on mahdollista tehdä tavallisilla fraktaalien luontiohjelmilla, jotka sisältävät animaatioominaisuuden, esimerkiksi Ultra Fractal -ohjelman animaatioversiolla. Kolmiulotteisia maisemavideoita voidaan tehdä esimerkiksi Bryce-ohjelmalla. Fraktaalianimaatioita käytetään muun muassa näytönsäästäjissä, Winamp-sovelluksen ja muiden musiikintoisto-ohjelmien visualisointivideoissa sekä fotorealististen maisemien kuvaamisessa.



Kuva 17. Winamp-ohjelmassa fraktaalit saadaan liikkumaan musiikin tahdissa.

4.2 Ohjelmien esittely

Ultra Fractal 5 Animation -ohjelmalla voidaan luoda suurennosvideoita. Jokaista parametria voidaan animoida erikseen. Animaation pituus ja Frame Rate -ominaisuus voidaan valita. Animaatioiden muokkaus on helppoa Timeline-työkalun avulla. Suurennot tehdään hiirellä, ja animaatioissa on mahdollista pyörittää, venyttää ja kääntää kuvaa. Lopuksi animaatiot voidaan renderöidä AVI-tiedostoiksi. (Slijkerman 1999 - 2007.)

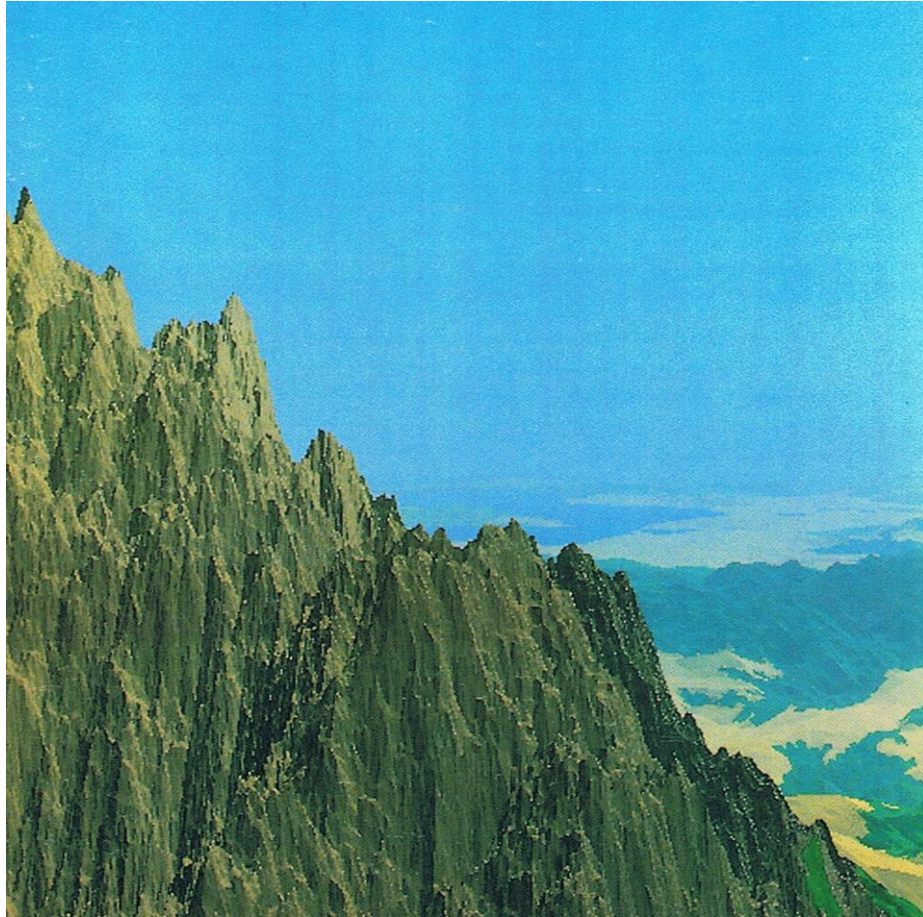
Bryce-ohjelmalla voi animoida kappaleiden ja kameran liikettä, kappaleen kokoa ja muotoa, materiaaleja sekä maaston ja taivaan ominaisuuksia. Bryce-ohjelmassa animaatiot tehdään kahden Key Event -tapahtuman avulla. Kun tekee jonkin muutoksen kappaleen ominaisuuteen, ohjelma täyttää näiden kahden Key Event -tapahtuman väliin jäävän tilan ja illuusio animaatiosta on valmis. Animaatiot voi renderöidä AVI- tai Quick Time -tiedostoiksi. (Daz Production 2003 - 2005, 396 - 451.)

5 FRAKTAALINEN MAISEMASUUNNITTELU

5.1 Yleistä

Maisemakuvien luominen on lähtökohtaisesti haastavaa, sillä luonto koostuu yksinkertaisia geometrisia muotoja monimutkaisemmista kappaleista. Koska monet luonnosta löytyvät kappaleet ovat fraktaaleita, on luonnollista, että luontoa mallinnettaessa käytetään fraktaaleita. Siksi fraktaaligeometria on suuressa roolissa, kun renderöidään ja mallinnetaan luontoa sekä luonnon ilmiöitä, simuloidaan kasveja ja luodaan maisemia.

Fraktaaleilla luotuja maisemia on käytetty monissa elokuvissa, muun muassa Star Wars ja Star Trek II: The Wrath of Khan -elokuvissa (kuva 18). Myös peliteollisuudessa on käytetty 3D-kenttien luonnissa fraktaaleita.



Kuva 18. Fraktaalimaisema elokuvasta *Star Trek II: The Wrath of Khan*.

5.2 Fraktaalisen maiseman mallinnusohjelmat

5.2.1 Ohjelmien esittely

Landscape Studio on ilmainen karttojen luontiohjelma Windows- ja Mac-alustoille. Ohjelmalla voi tehdä useita projekteja samanaikaisesti, luoda omia maastonluontialgoritmeja ja tallentaa valmiit maisemat useille eri formaateille, kuten RAW, TER ja JPEG. Ohjelmalla voi myös esikatsella maastoja reaaliaikaisesti ja kolmiulotteisesti. Ohjelmalla saa tehtyä hyvin realistisia maisemakuvia (kuva 19). (Robinson 2006.)

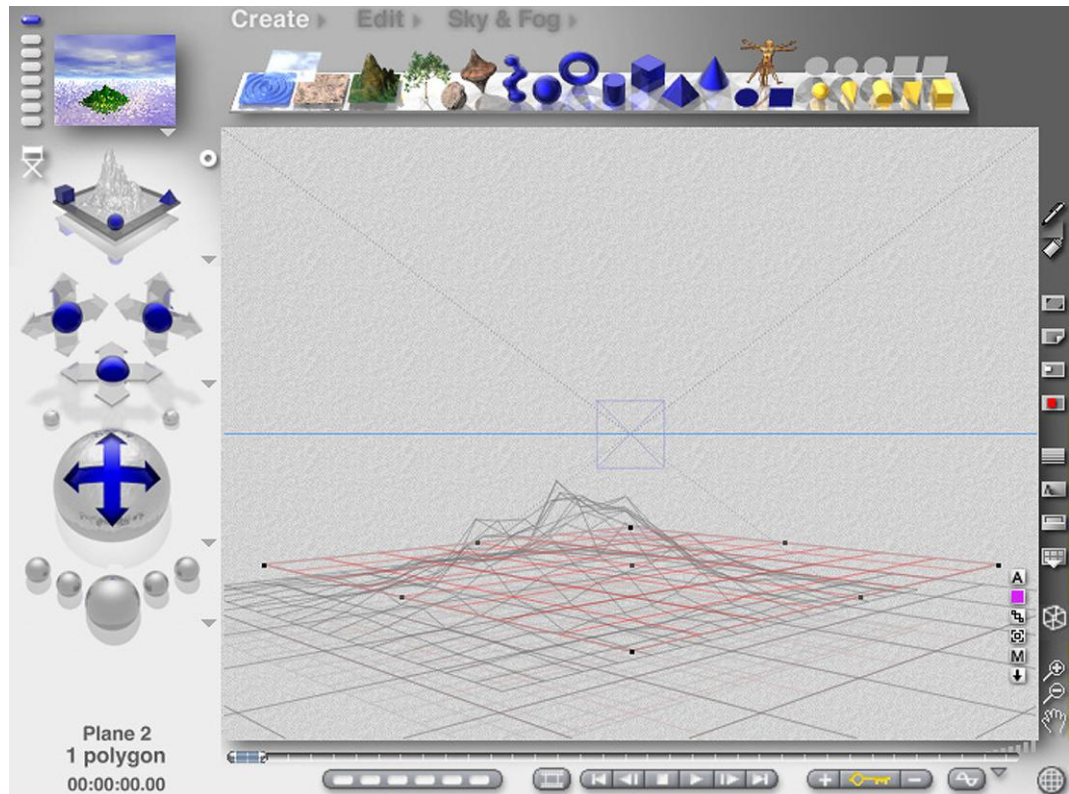


Kuva 19. Landscape Studio -ohjelmalla voi tehdä realistisia maisemakuvia.

MDTerrain on ilmainen maastonluontiohjelma, jolla luodaan midpoint displacement -menetelmällä pintoja. Ohjelman on luonut Matthias Grumet vuonna 2003. Ohjelman uusin versio 0.5 julkaistiin vuonna 2005. (Grumet 2003 - 2005.)

MojoWorld on kaupallinen ja fraktaalipohjainen digitaalisten maisemien mallinnusohjelma. Ohjelmaa markkinoi Pandromeda, jonka toimitusjohtajana on ohjelman kehittäjä Ken Musgrave. MojoWorld-ohjelmalla voi luoda kokonaisia planeettoja yksinkertaisella käyttöliittymällä, muokata maisemia ja renderöidä. Vuonna 2006 julkaistu MojoWorld 3 sisältää mahdollisuuden myös metsien, kallioiden ja kivien luomiseen. (MojoWorld Generator 2008.)

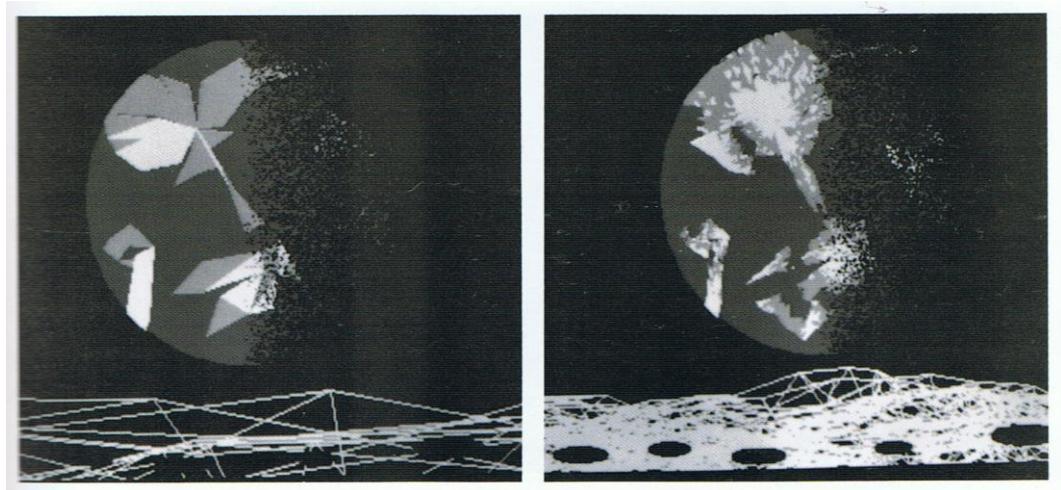
Bryce on 3D-mallinnus-, renderöinti- ja animointiohjelma, joka on keskittynyt fraktaalimaisemiin. Ohjelma tukee monia ominaisuuksia: HDR-kuvia, perinteisiä materiaaleja ja tekstuureja, animaatioita, edistynyttä maan luomista ja muokkausta sekä nopeaa realististen puiden luomista. (Bryce 2009.) Ohjelman alkuperäinen kehittäjä on Ken Musgrave ja sitä on sittemmin kehittänyt Eric Wenger ja Kai Krause yksinkertaisen käyttöliittymän osalta (kuva 20). Bryce 1.0 ilmestyi vuonna 1994 Macintosh-alustalle, ja uusin versio 6.1 vuonna 2007 oli saatavissa sekä Macintosh- että Windows-alustoille. (Bryce 2009.)



Kuva 20. Brycen käyttöliittymä.

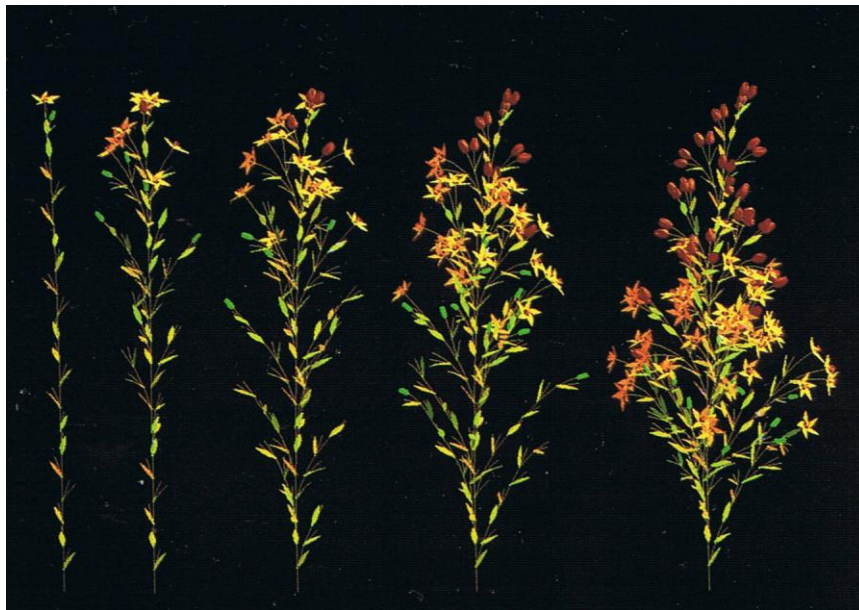
5.2.2 Maiseman luominen

Maanpinnan muotoja voidaan tehdä suhteellisen yksinkertaisilla matemaattisilla kaavoilla. Koska iteroimalla kaavoja saadaan kuvio pienemmissä mittakaavoissa toistumaan suuremmissa mittakaavoissa, kuvioilla voidaan jäljitellä suuren mittakaavan reaalimaailman objekteja. Yksi varhaisimmista vuorien fraktaalijäljitelmistä tehdään tekniikalla, jossa satunnaisesti siirretään kolmioiden sivujen keskipisteitä (midpoint displacement). Yksinkertainen kaava käskää tietokonetta piirtämään kolmion toisen kolmion sisään sen jälkeen, kun alkuperäisen kolmion jokaista kolmen sivun keskipistettä on liikutettu mielivaltaisesti. Kun iteraatiot jatkuvat, jokaisen pienemmän kolmion muoto on muuttunut ja lisääntyvien kolmioiden määrä kolmioiden sisällä muodostaa vuorimaiseman (kuva 21). (Briggs 1992, 85.)



Kuva 21. Midpoint displacement -menetelmällä saadaan luotua vuorimaisemia.

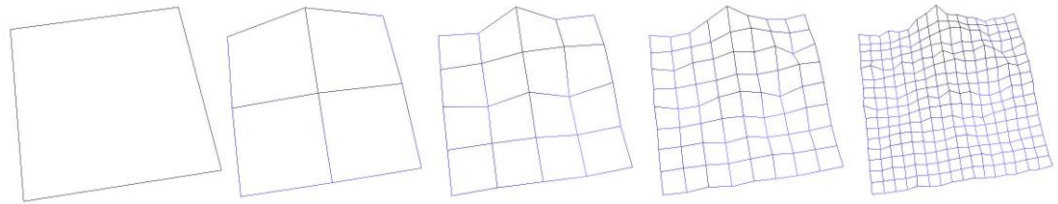
Puita ja kasveja simuloidaan niin sanotulla rekursiivisella konstruktioilla, jossa on tiedot toistuvien muotojen piirtämiseen, kuten oksien, runkojen, lehtien ja kukkien. Pyörittämällä, taivuttamalla ja paksuutta vaihtamalla tiettyjen iteraatiokertojen jälkeen, saadaan luotua hyvin aidonnäköistä kasvillisuutta (kuva 22). (Briggs 1992, 85 - 86.)



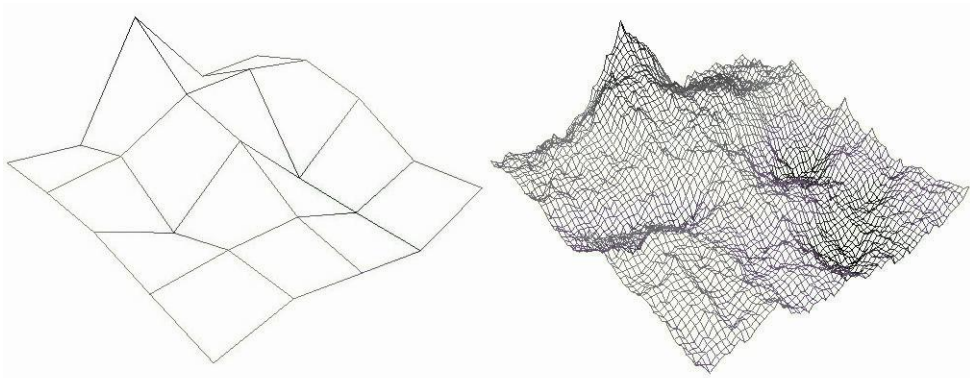
Kuva 22. Rekursiivisella konstruktioilla luodaan kasveja.

Diamond-square-algoritmia käytetään muun muassa Bryce-sovelluksessa. Tässä metodissa neliö jaetaan neljään pienempään, mutta samankokoiseen neliöön. Alkuperäisen neliön keskipiste asetetaan vertikaalisesti satunnaiselle korkeudelle. Prosessi toistetaan uusille pienille neliöille, kunnes haluttu yksityiskohtien taso on

saavutettu (kuva 23). Muodostuvan maanpinnan tarkkuus määräytyy iteraatiokerrojen mukaan (kuva 24). (Fractal landscape 2009.)

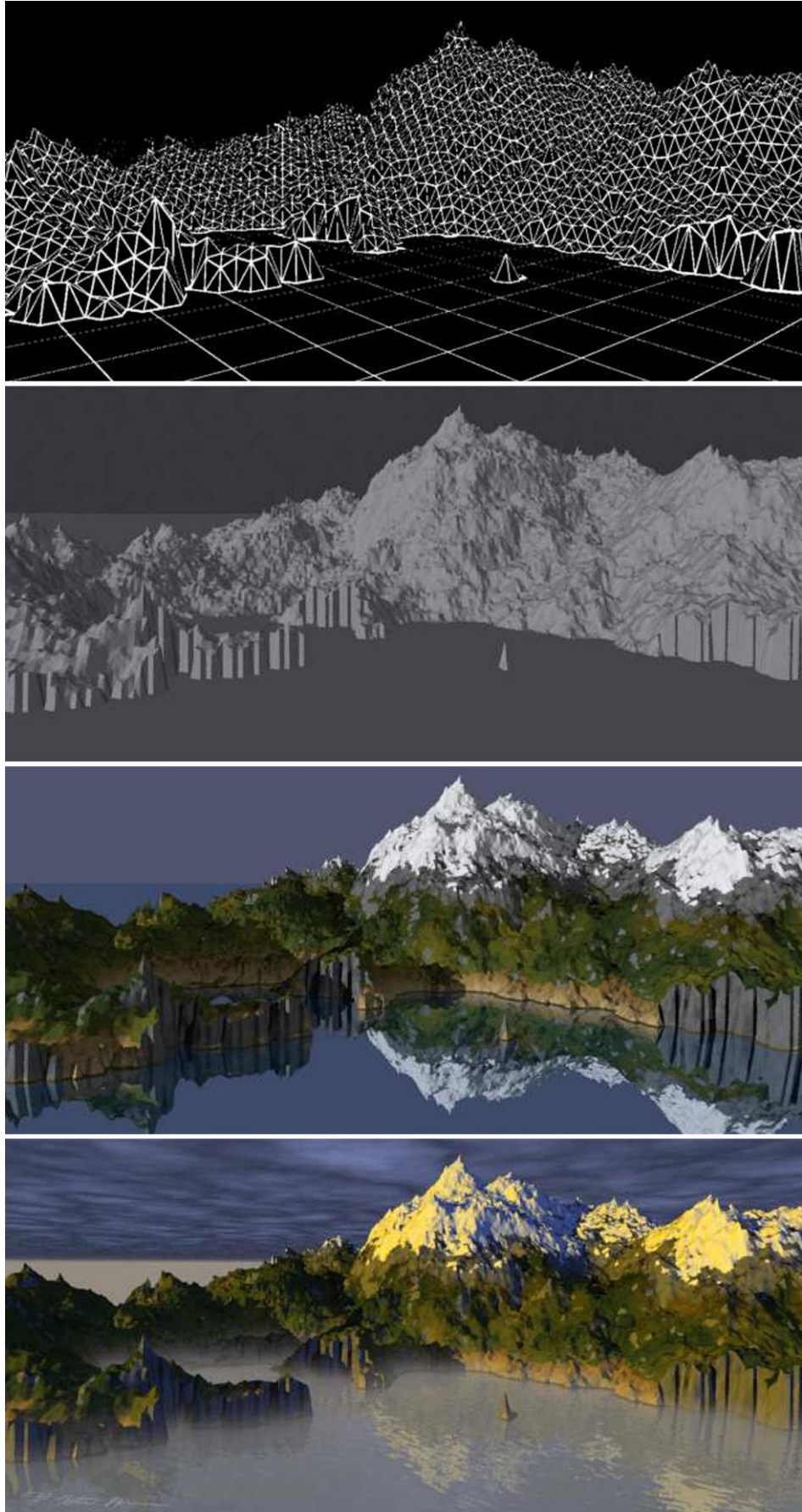


Kuva 23. Diamond-square-algoritmin viisi ensimmäistä vaihetta.



Kuva 24. Maastonpinta kahden ja kuuden iteraation jälkeen.

Mahdollisuuksia maisemien renderöintiin on monenlaisia ohjelmista ja asetuksista riippuen. Seuraavassa esimerkissä on tehty neljä erilaista renderöintiä samasta maisemasta (kuva 25). Wireframe-renderöinnissä on maiseman yksinkertainen malli. Flat-Shaded-renderöinnissä on maastomalli, josta on näkymättömät pinnat poistettu ja johon on lisätty kaksi valonlähdettä. Ray-Traced-renderöinnissä näkyy varjot, heijastukset ja jotkin tekstuurit. Lopulliseen renderöintiin on lisätty sumua, pilviä, aaltoja ja valonlähteelle omia värejä. (The evolution of "Late Afternoon" 1989.)



Kuva 25. Neljä erilaista renderöintiä samasta maisemasta.

6 FRAKTAALINEN KUVANPAKKAUS

6.1 Menetelmä

Kun matemaattisella funktiolla luodaan graafinen kuva fraktaalista, niin fraktaalissa kuvanpakkauksessa toimitaan päinvastoin. Kuvasta etsitään fraktaalisia eli samankaltaisia muotoja, jotka pyritään muuttamaan matemaattisiksi funktioiksi. Tämä on hyödyllinen sovellus, koska kuvat voidaan tiivistää jopa tuhannesosaan niiden alun perin viemästä tilasta. Kuvan tiivistäminen tällä tavoin vaatii kuitenkin valtavasti laskemista, mikä onkin fraktaalipakkaamisen eräs suurimmista ongelmista. Kuvien purkaminen käy kuitenkin huomattavasti nopeammin. (Rantanen 2001 - 2003.)

Fraktaalista kuvanpakkausmenetelmää kutsutaan nimellä fraktaalikoodaus ja se on häviöllinen kuvanpakkausmenetelmä. Tässä menetelmässä kuvasta etsitään samanlaisia muotoja, jotka esitetään yhden osakuvan muunnoksilla. Osakuvaa voidaan muun muassa kiertää, venyttää ja vinouttaa, ja sen kokoa voidaan muuttaa niin, että tuloksena on johonkin toiseen kohtaan kuvassa sopiva palanen. Juuri näiden osakuvien etsimisen takia fraktaalinen kuvanpakkaus on hyvin raskasta. (Fractal compression 2009.)

Suurin vaikutus menetelmän nopeuteen sekä pakatun ja puretun kuvan laatuun on osakuvien valinnalla. Koska pakatussa tiedostossa ei ole tallennettuna pikseileitä, vaan fraktaalikoodi, voi kuvan purkaa minkä kokoiseksi tahansa ilman, että kuvan terävyys kärsisi. (Fractal compression 2009.)

6.2 Historia

Michael Barnsley keksi fraktaalisen kuvanpakkauksen vuonna 1987. Hän perusti Alan Sloanin kanssa samana vuonna Iterated Systems Inc. -firman, jolle on myönnetty yli 20 patenttia fraktaaliseen kuvanpakkaukseen liittyen. Firma teki läpimurron kehittämällä automaattisen fraktaalien muuntoprosessin, joka vähensi ihmisen tarvetta kuvanpakkauksen aikana. (Fractal compression 2009.)

Fraktaalista kuvanpakkausta on käytetty useissa kaupallisissa sovelluksissa, kuten Iterated Systems Inc.:in omassa onOne Software -ohjelmassa. Menetelmää on käy-

tetty myös Genuine Fractals 5 -sovelluksessa, joka on Photoshopin liitännäinen ja jolla voidaan tiedostot tallentaa pakattuun FIF-muotoon (Fractal Image Format). Tähän päivään mennessä menestynein fraktaalisen kuvanpakkauksen käyttö on ollut Microsoftin Encarta multimediatietosanakirja -sovelluksessa. Iterated Systems Inc. alkoi kehittää muita menetelmiä, kun FIF ei kehittynyt eikä firman tekemät kokeilut videoiden fraktaalista pakkauksesta onnistunut sen paremmin. Fraktaalipakkauksen patentit omistaa nykyään Interwoven-firma, joka oli ennen Iterated Systems Inc. Patentteja koskevat rajoitukset ovat hidastaneet fraktaalipakkauksen laajan kehityksen ja omaksumisen. Siksi myös tietoa pakkausmenetelmästä on hyvin vähän saatavilla. (Fractal compression 2009.)

7 CASE: ULTRA FRACTAL JA BRYCE

7.1 CASE-osion kuvaus

CASE-osion tarkoituksena oli testata ja arvioida kahden eri ohjelman käytettävyyttä ja mahdollisuuksia. Testaukset suoritettiin kirjoittajan mieltymysten ja taitojen mukaan kirjoittajan kotikoneella. Ohjelmina käytettiin Ultra Fractal 5 Animation -kokeiluversiota ja Bryce 5.5 -demoversiota. Ohjelmissa ei ollut kaikkia alkuperäisten ohjelmien mukana tulevia ominaisuuksia. Lisäksi ohjelmien renderöintikuviin tuli vesileimat.

Ultra Fractal -ohjelmalla tehtiin myös fraktaalityö, jossa käytiin läpi yksityiskohdaisesti, miten kyseisellä ohjelmalla tehdään fraktaali. Työ tehtiin useita eri tutoriaaleja apuna käyttäen. Työssä käytettiin Switch Mode -toimintoa, suurennosta, Gradient-toimintoa ja kolmea eri tasoa monipuolisen fraktaalien tekemiseen. Työssä käytetyt kuvat olivat kuvakaappauksia, jottei vesileimoja sisältäviä kuvia tarvitsi käyttää. Loppujen lopuksi ne eivät edes erottuneet renderöintikuvista, jotka olivat vain hivenen pehmeämpiä kuin ruudulla näkyvät fraktaalit.

7.2 Ultra Fractal

7.2.1 Ohjelman arviointi

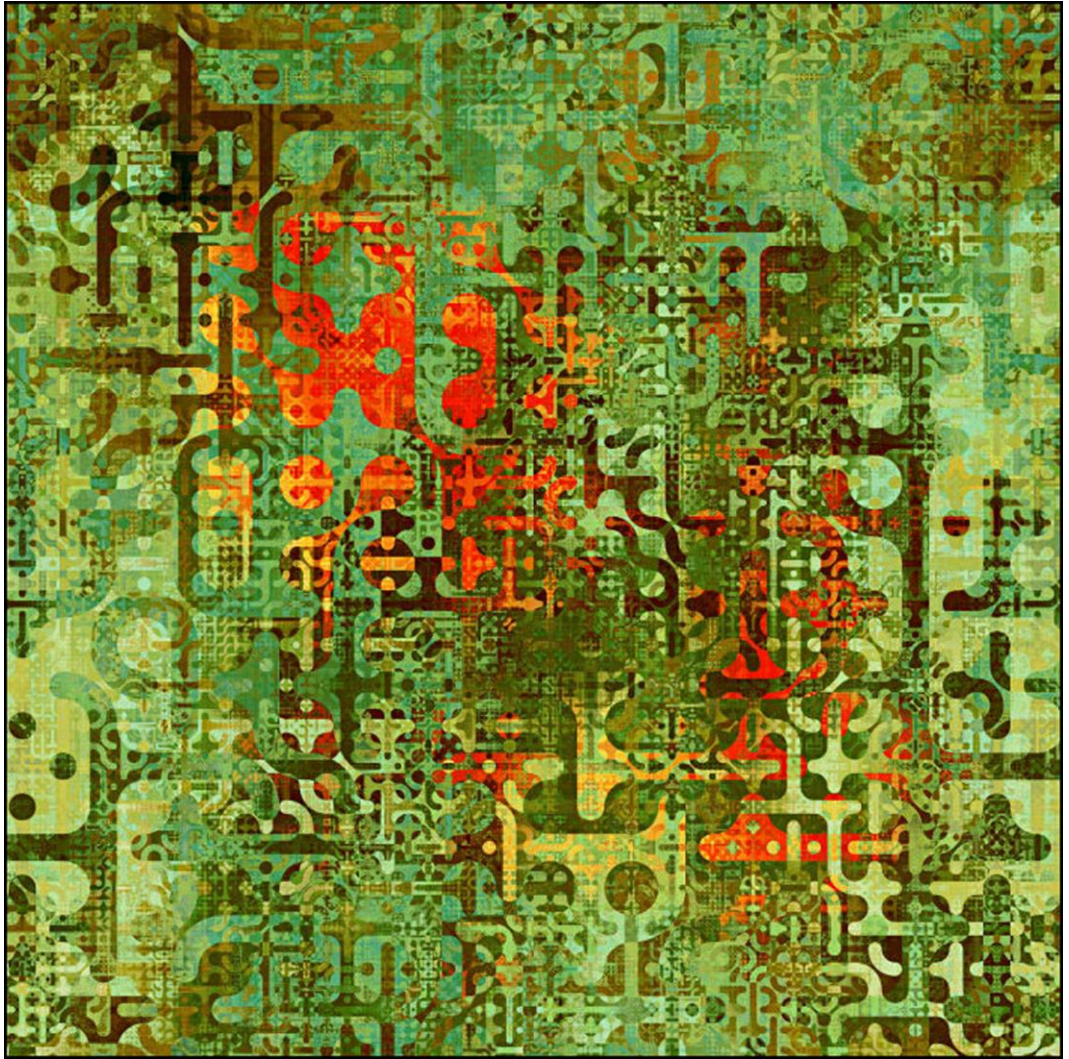
Ultra Fractal 5 Animation -ohjelman käyttö ensimmäisistä kerroista lähtien on helppoa, koska ohjelman käyttöliittymä on hyvin selkeä ja yksinkertainen. Ohjelman ulkoasu on myös selkeä, mutta hieman väritön. Ohjelman valikot ovat englanninkielisiä, mutta helposti ymmärrettäviä.

Ohjelman Help-valikko on kattava ja helppolukuinen. Tutoriaalejakin löytyy kiitettävästi. Apuja löytyy muun muassa ensimmäisen fraktaalien tekemisestä, omien kaavojen lisäämisestä ja taso-ominaisuuksien käytöstä. Ohjeissa selitetään varsin kattavasti myös, mikä on fraktaali.

Taso-ominaisuus on kätevä. Sillä saa fraktaaleihin monenlaisia efektejä ja jossain määrin välttää fraktaalien jälkityöstöä, kun efektit voidaan lisätä suoraan ohjelmassa. Myös koko näytön tilassa työskentely on helppoa ja kätevää, jos vain on opetellut yksinkertaiset suurennos- ja venytyspikatoiminnot. Animaation tekeminen on ohjelmassa helppoa eikä renderöintiajatkakaan ole kovin pitkiä, vaikka vähän monimutkaisempia fraktaaleja tai animaatioita tekisikin.

Ultra Fractal 5 Animation -ohjelmassa on myös huonoja ominaisuuksia. Kaikista toiminnoista ei aina tiedä, miten niiden muuttaminen vaikuttaa fraktaaliin. Usein eri toimintoja pitääkin kokeilla ennen kuin haluttu muutos tapahtuu. Tämä vie paljon aikaa ja turhauttaa käyttäjän nopeasti.

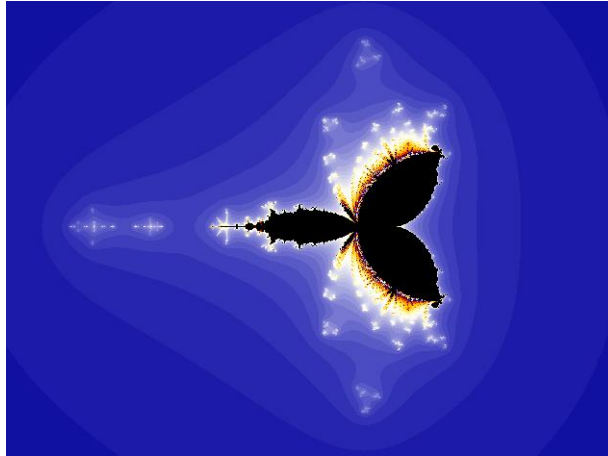
Ultra Fractal 5 Animation -ohjelmaa voisi suositella fraktaalitaiteilijoille, joilla on jaksamista kokeilla eri ominaisuuksia ja tällä tavoin löytää mitä erilaisimpia fraktaaleja. Satunnaisille fraktaalien tekijöille ohjelma on hyvä, koska sitä on helppo käyttää, mutta kovin persoonallisia fraktaaleja ei lyhyellä oppimisella vielä saa luotua. 89 euroa Ultra Fractal 5 Animation -ohjelmasta on ihan kelpo hinta, mutta jotta edes sen verran kannattaa maksaa tästä ohjelmasta, on syytä olla jo todella kiinnostunut fraktaaleista. Vuosien kokemuksella voi oppia tekemään todella näyttäviä fraktaaleja (kuva 26).



Kuva 26. Kymmenen vuotta *Ultra Fractal* -ohjelmaa käyttäneen Samuel Monnierin taidonnäyte.

7.2.2 Fraktaalityö

Työ aloitettiin Phoenix (Mandelbrot) -kaavalla, joka oli kokeiluversiossa valmiina (kuva 27). Switch Mode -toiminnolla muutettiin kahta fraktaalien parametria, Julia Seed -arvoja, jotka määrsivät fraktaalien rakenteen. Switch Mode -toiminnolla näki suoraan Fractal Mode -ikkunasta, miltä uusi fraktaali tulisi näyttämään. Toiminto muutti myös Phoenix (Mandelbrot) -kaavan Phoenix (Julia) -kaavaksi.

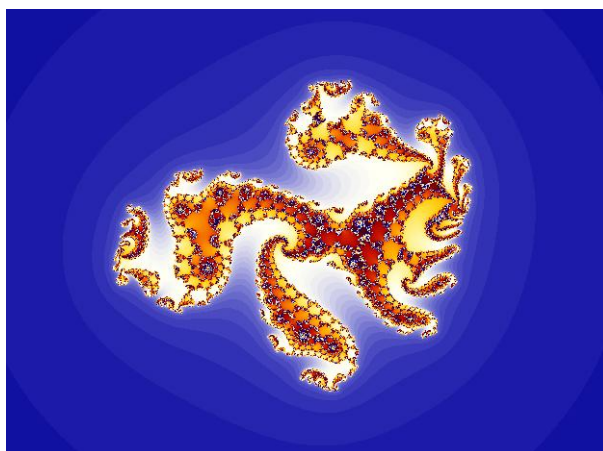


Kuva 27. Phoenix (Mandelbrot) -fraktaali.

Seuraavaksi käytettiin Explore-toimintoa, jolla sai äsken muutettuja Julia Seed -arvoja muutettua tarkemmin. Klikkaamalla jotain parametrikenttää ilmestyi kaksi ikonia, joista toinen oli Explore-nappi (kuva 28). Valitsemalla Explore-napin avautui uusi Explore-ikkuna, jossa hiiren kursoria liikuttamalla näki Fractal Mode -ikkunassa, kuinka fraktaali muuttuisi tietyillä arvoilla. Julia Seed -arvoiksi tuli -0.2589852008 ja -0.1395348837 , joilla kuva muuttui täysin alkuperäisestä (kuva 29).



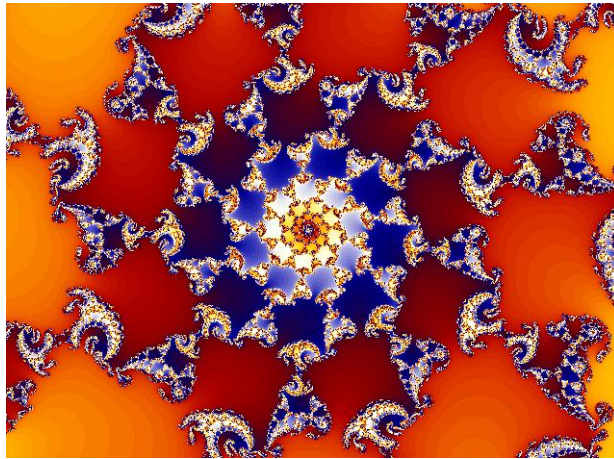
Kuva 28. Parametrikenttää painamalla ilmestyy Explore-nappi.



Kuva 29. Fraktaali Julia Seed -arvojen muuttamisen jälkeen.

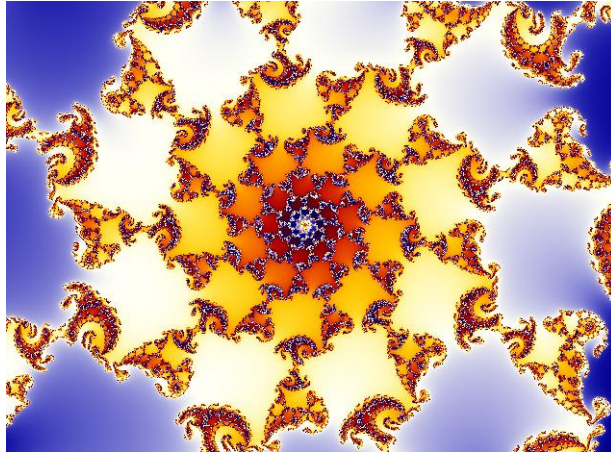
Helpoin tapa suurentaa fraktaalialia oli asettaa hiiren kursori fraktaalialin päälle haluamaansa kohtaan, klikata ja vetää vasen nappi pohjassa haluamansa kokoisen alueen. Tätä aluetta pystyi vielä kääntämään, liikuttamaan tai kokoa muuttamaan ennen suurennosta. Tuplaklikkaamalla aluetta suurennos aukesi. Suurennettua aluetta pystyi suurentamaan uudelleen ja näin sai fraktaalialia suurennettua haluttu määrä (kuva 30). Tätä työtä suurennettiin niin, että lopullisen suurennoksen suurennuskoodiksi tuli seuraava:

```
BackgroundLocation {
location:
center=-0.3979/0.28282 magn=1102.9412
}
```



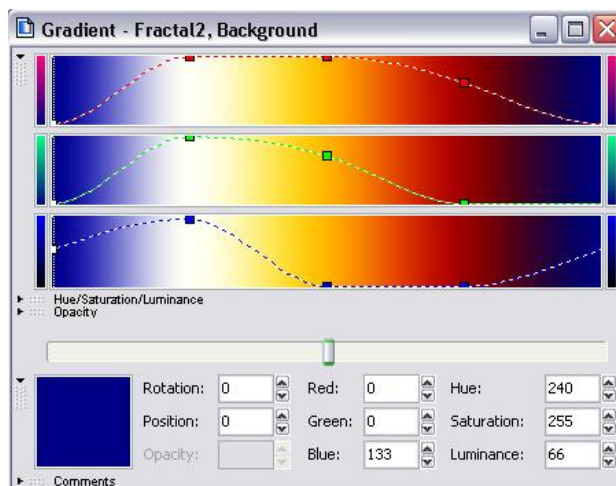
Kuva 30. Fraktaalialia suurennoksen jälkeen.

Seuraavaksi lisättiin värialgoritmi. Layer Properties -ikkunan Outside-välilehdeltä valittiin Browse-nappi, josta valittiin ohjelman mukana valmiina tullut Smooth (Mandelbrot) -algoritmi. Transfer Function -arvoksi muutettiin Sqrt ja Color Density -arvoksi 5 (kuva 31).

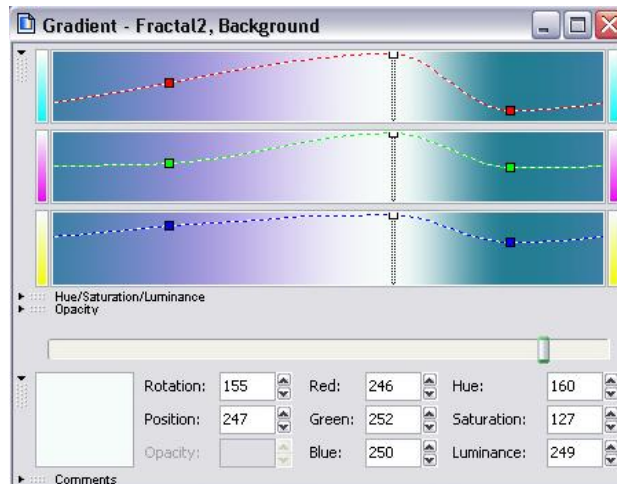


Kuva 31. Fraktaali uuden värialgoritmin ja kahden parametrimuutoksen jälkeen.

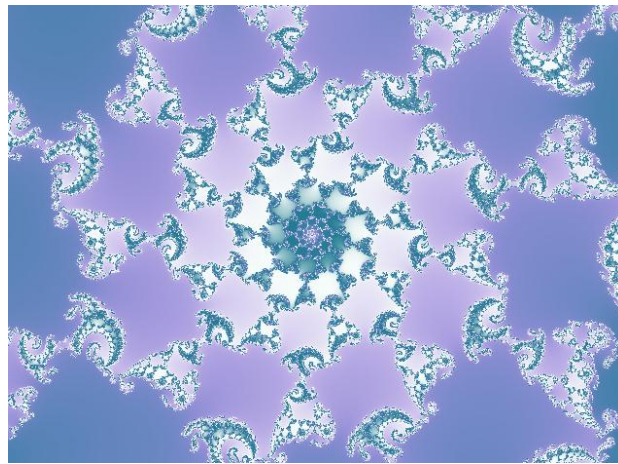
Gradient-editorista näki fraktaalissa tällä hetkellä käytetyt värit (kuva 32). Gradient-editori koostui kolmesta horisontaalisesta liukuvärikohtasta ja niihin liitetystä kontrollipisteistä. Liikuttamalla joko koko liukuvärikohtaa tai pelkkiä kontrollipisteitä saatiin fraktaalinvärejä muutettua. Värien arvoja pystyi muuttamaan myös suoraan numeraalisesti. Arvoja muutettiin siten, että saatiin halutut värit (kuva 33). Muutosten jälkeen värit muuttuivat välittömästi fraktaalissa (kuva 34). Tähän asti kaikki toiminnot oli tehty samalle tasolle, jolle voitiin antaa nimeksi Coloring.



Kuva 32. Fraktaalinvärien alkuperäiset värit.



Kuva 33. Fraktaalien muutetut värit.

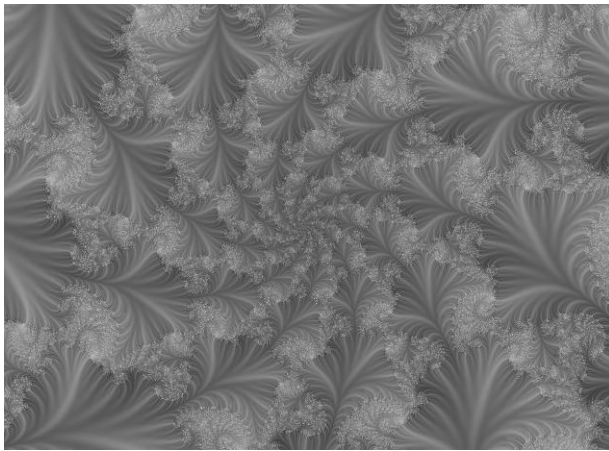


Kuva 34. Fraktaali värimuutosten jälkeen.

Työhön lisättiin uusi taso, jolle annettiin nimi Texture ja jolle Outside-välilehdeltä asetettiin Triangle Inequality Average -värialgoritmi. Gradient-editorista avattiin File ja Replace, josta valittiin ohjelman mukana tullut Grayscale (kuva 35). Outside-välilehdeltä muutettiin vielä Color Density -arvoksi 1 ja Transfer Function -arvoksi Linear. Gradient-editorista muutettiin valkoisten kontrollipisteiden Position-arvoksi 130 ja mustien pisteiden arvoksi 185 (kuva 36).



Kuva 35. Texture-taso Grayscale-muutoksen jälkeen.



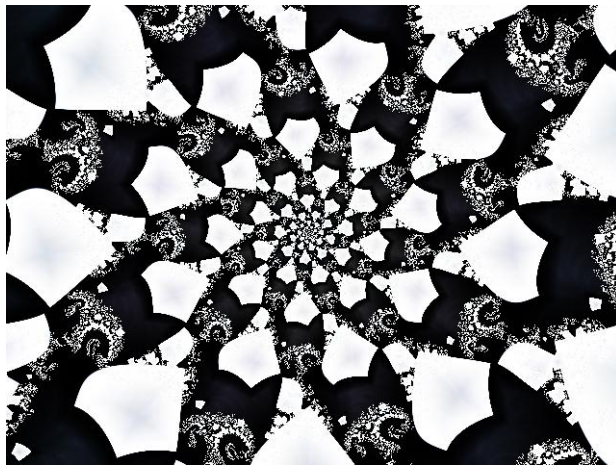
Kuva 36. Fraktaali uusien muutosten jälkeen.

Fractal Properties -ikkunasta Layers-välilehdeltä vaihdettiin Merge Mode -arvoksi Hard Light. Näin saatiin alla olevaa tasoa näkyviin (kuva 37).

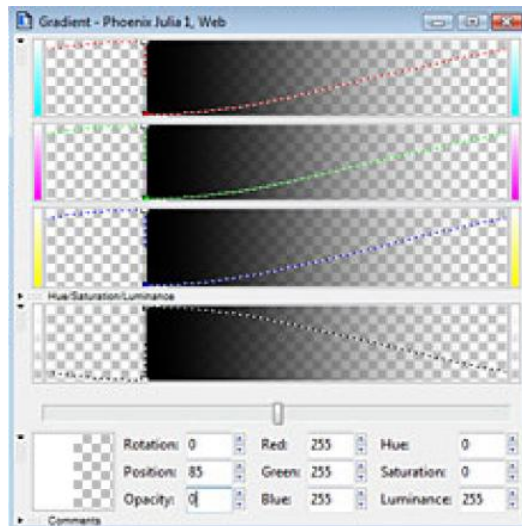


Kuva 37. Fraktaali Merge Mode -muutoksen jälkeen.

Työhön lisättiin vielä kolmas taso, jolle annettiin nimeksi Web. Tälle tasolle lisättiin Outside-välilehdeltä Orbit Traps -värialgoritmi. Color Density -arvoksi muutettiin 5 ja Trap Shape -arvoksi Rectangle. Gradient-editorista muutettiin valkoisten kontrollipisteiden Position-arvoksi 85 ja mustien pisteiden arvoksi 86, jolloin fraktaaliin tuli jyrkät reunat mustan ja valkoisen välille (kuva 38). Gradient-editorin Opacity-kohdasta valittiin hiiren oikeanpuoleisella napilla Link Color and Opacity, jotta tietyille väreille saataisiin läpinäkyvyyttä. Valkoisten kontrollipisteiden Opacity-arvoksi laitettiin 0, joten tämän tason valkoiset kohdat muuttuivat täysin läpinäkyviksi (kuva 39).



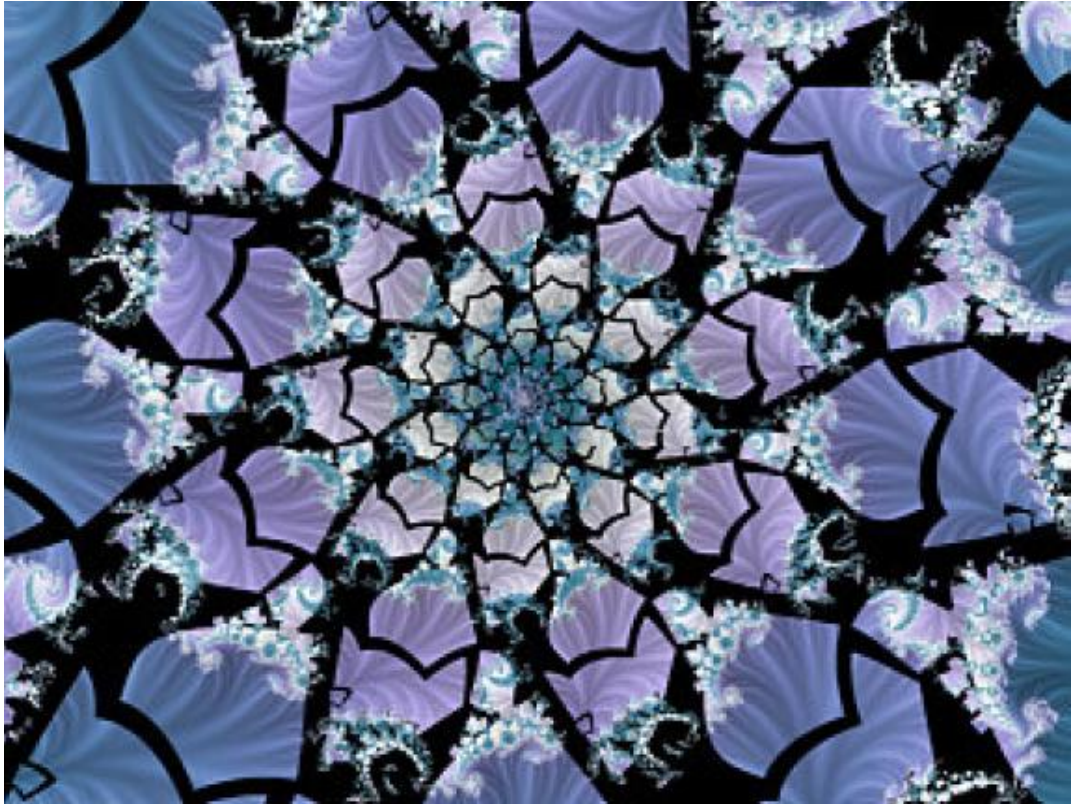
Kuva 38. Fraktaali mustavalkoisena.



Kuva 39. Gradient-editori niin, että valkoisesta väristä tulee läpinäkyvä.

Gradient-editorissa lisättiin vielä pari kontrollipistettä, jotta saataisiin fraktaali valmiiksi. Klikkaamalla Gradient-editorissa oikeanpuoleista hiiren nappia sai valittua Insert-napin. Klikkaamalla mihin tahansa värialueen kohtaan sai lisättyä uuden kontrollipisteen. Red-, Green- ja Blue-arvoiksi vaihdettiin 0, Position-

arvoksi 115 ja Opacity-arvoksi 255. Sitten lisättiin vielä toinen kontrollipiste, jolle annettiin Red-, Green- ja Blue-arvoiksi 255, Position-arvoksi 116 ja Opacity-arvoksi 0. Näin oli saatu verkkomainen fraktaali valmiiksi (kuva 40).



Kuva 40. Valmis fraktaali.

7.3 Bryce

Bryce 5.5 demo-ohjelman käyttö on melko yksinkertaista helpon käyttöliittymän ansiosta. Tosin kappaleiden ja kuvakulmien asettelu oikeille kohdille on aluksi vaikeaa. Valikkojen vähyys helpottaa oikean toiminnan löytämistä. Ulkoasultaan ohjelma on miellyttävä.

Ohjelmalla saa vähäiselläkin käyttökokemuksella luotua näyttäviä maisemia, mutta demoversiosta puuttuvat materiaalit toki rajoittavat materiaalien käytön hyvin vähäiseksi. Se onkin demoversion yksi suurimmista ongelmista. Materiaalit renderöityvät aidonnäköisiksi ilman ominaisuuksien muutoksia. Muutettaessa esimerkiksi taivaan ominaisuuksia on vaikea tietää, mitä muutokset saavat aikaan, ja usein pienikin muutos vaikuttaa valmiissa kuvassa todella suurelta.

Animaation tekeminen on Bryce-ohjelmassa helppoa. Ainoastaan kameran liikuttaminen ilman ohjeita ei onnistu, mutta kappaleiden liikuttelu onnistuu perinteisillä Key Frame -ominaisuuksilla. Animaation renderöinti on hidasta yksinkertaisilakin asetuksilla, ja välillä vaikuttaa, että minkä tahansa kappaleen renderöinti vie turhan paljon aikaa.

Help-valikko on hyvin kattava, ja tutoriaalejakin on peräti 36 kappaletta. Ohjeita löytyy dokumentin luonnista ja kameran asettamisesta aina Key Frame -ominaisuuksien ja renderöintien opastukseen asti.

Demoversion toinen suuri ongelma on se, että mahdollisuus tallentaa töitä puuttuu täysin. Valmiita renderöityjä kuvia, animaatioita tai muitakaan ominaisuuksia ei voi tallentaa myöhempää käyttöä varten. Jotta ohjelmasta saisi kaiken hyödyn, on Bryce 6 -ohjelmasta maksettava melkein 100 dollaria. Hinta on pieni verrattuna ohjelman tuomiin mahdollisuuksiin, jotka eivät rajoitu vain maiseman luontiin (kuva 41).



Kuva 41. Bryce-ohjelmalla voi mallintaa muutakin kuin maisemia.

8 YHTEENVETO

Jos fraktaaleihin tutustuu pintapuolisesti tai vain niiden matemaattiseen puoleen, ei fraktaaleista saa kovin mielenkiintoista kuvaa. Fraktaalien sovelluskohteet ovat ne, mitkä tekevät fraktaaleista mielenkiintoisia. Tässä työssä käsiteltyjä visuaalisia sovelluskohteita olivat fraktaaligrafiikka, fraktaalianimaatio, fraktaalinen maisemasuunnittelu ja fraktaalinen kuvanpakkaus.

Fraktaalien tekeminen on hauskaa eikä ohjelmien käytön opetteluun tarvitse juurikaan käyttää aikaa. Fraktaalien luontiohjelmat muodostavat graafiset kuvat matemaattisista kaavoista. Usein kaavoja voi lisätä itse, mutta helpoin tapa on käyttää valmiita kaavoja ja luoda persoonallisuutta erilaisilla kuvankäsittelymenetelmillä. Fraktaalitaiteen tekeminen on usein kokeellista ja näin ollen aikaa vievää. Monipuolisen ja persoonallisen fraktaalitaiteen tekeminen vaatii paljon harjoitusta.

Kaksiulotteisia fraktaalianimaatioita voi usein tehdä samoilla ohjelmilla, joilla fraktaalejakin tehdään. Animaatioita on hauska katsella, mutta muiden kuin suurennosvideoiden tekeminen vaatii jo parempaa tietämystä videoiden tekemisestä. Kolmiulotteisia animaatioita voi tehdä muun muassa Bryce-ohjelmalla. Yleensä kolmiulotteisissa animaatioissa kuvataan maisemaa ikään kuin katsoja lentäisi maiseman yllä.

Maisemasuunnittelu on haastavaa, mutta fraktaalien avulla saadaan luotua hyvin realistisia maisemia. Realistisilla maisemilla on kysyntää elokuva- ja peliteollisuudessa, joten ohjelmien kehittämisellä voisi saada suurenkin yleisön kiinnostumaan näistä fraktaaleita käyttävistä maisemien luontiohjelmissa.

Fraktaalissa kuvanpakkauksessa kuvasta etsitään samankaltaisia muotoja ja pyritään muuttamaan ne matemaattisiksi kaavoiksi. Menetelmä on siis käänteinen fraktaalien luomiselle. Fraktaalinen kuvanpakkaus olisi hyvin tehokas menetelmä, jos sitä vain ei olisi patentoitu ja se olisi kaikkien kehitettävissä ja käytettävissä.

Tulevaisuudessa fraktaaleja tullaan varmasti käyttämään visuaalisissa sovelluskohteissa yhtä paljon kuin nykyäänkin. Fraktaalitaidetta tullaan taatusti jatkamaan digitaalisen taiteen osana ja kuvagallerioita täytetään fraktaalikuvilla. Niin kauan

kuin fraktaaliohjelmilla on mahdollisuus tehdä animaatioita, tekijät taatusti kokeilevat myös fraktaalien animoimista. Uusia fraktaaliohjelmia ei ole kehitteillä ja nykyisiinkin tulee harvoin päivityksiä, mikä hidastaa fraktaalien kehittämistä ja tuntemista. Suurin osa ihmisistä ei tule koskaan tietämään, mitä fraktaalit ovat, ja näin ollen fraktaalit pysyvät pienten piirien tiedossa.

LÄHTEET

Haastattelulähteet

Härkönen, J. 2009. Turun yliopisto. Matematiikan maisteri, luennoitsija ja fraktaalitaiteilija. Sähköpostihaastattelu 25.9.2009 ja 2.12.2009.

Painetut lähteet

Briggs, J. 1992. *Fractals The Patterns of Chaos*. United States of America.

Daz Production. 2003 - 2005. Bryce 5.5 Artist guide.

Peitgen, H. & Saupe, D. 1988. *The Science of Fractal Images*. Springer-Verlag New York Inc. Arcata Graphics/Halliday, West Hanover, Massachusetts.

Painamattomat lähteet

Länsimies, A. 2009. Fraktaalit tietokonetaiteessa ja -grafiikassa. Essee. Informaatioverkostot: Studio 4.

Mattila, J. 2005. Fraktaalit. Matematiikan osa-alueita.

Seppänen, A. 2002. PET-kuvien fraktaalianalyysi. Sovelletun matematiikan pro gradu. Turun yliopisto, Matematiikan laitos / matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta.

Weckman, J. 2006. Fraktaalit. Tutkielma. EVTEK-ammattikorkeakoulu, Mediatekniikan koulutusohjelma.

Sähköiset lähteet

Apophysis. 2009. Wikipedia.org [viitattu 23.11.2009]. Saatavissa:
<http://apophysis.wikispaces.com/>

Bryce. 2009. Wikipedia.org [viitattu 24.11.2009]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Bryce_%28software%29

Cantorin joukko. 2009. Wikipedia.org [viitattu 12.11.2009]. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/Cantorin_joukko

ChaosPro. 2009. [viitattu 23.11.2009]. Saatavissa:
<http://www.chaospro.de/>

Fractal. 2009. Wikipedia.com [viitattu 18.8.2009]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Fractals>

Fractal compression. 2009. Wikipedia.com [viitattu 14.9.2009]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Fractal_compression

Fractal-generating software. 2009. Wikipedia.com [viitattu 10.11.2009]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Fractal-generating_software

Fractal landscape. 2009. Wikipedia.org [viitattu 30.11.2009]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Fractal_landscape

Fractint. 2009. Wikipedia.org [viitattu 23.11.2009]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Fractint>

Fraktaalien luokittelu. 1999. Lappeenrannan teknillinen yliopisto [viitattu 30.11.2009]. Saatavissa:
<http://www2.it.lut.fi/kurssit/98-99/1765/lectures/13/node3.html>

Grumet, M. 2003 - 2005. MDTerrain [viitattu 30.11.2009]. Saatavissa: <http://www.embege.com/fractals/mdterrain/>

Jones, D. 2003. Beautiful Math. Damien M. Jonesin kotisivu [viitattu 2.11.2009]. Saatavissa: <http://www.damienmjones.com/rants/beautifulmath.htm>

Jones, D. 1996 - 2004. What are fractals? Fractalus-sivusto [viitattu 2.11.2009]. Saatavissa: <https://www.fractalus.com/info/layman.htm>

Julia set. 2009. Wikipedia Commons [viitattu 10.11.2009]. Saatavissa: http://commons.wikimedia.org/wiki/Julia_set

Mitchell, K. 2002. The infinite art of Janet Parke – About fractals [viitattu 24.11.2009]. Saatavissa: <http://www.infinite-art.com/index.about.fractals.php>

MojoWorld Generator. 2008. Wikipedia.org [viitattu 26.11.2009]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Mojoworld_Generator

Monnerot-Dumaine, A. 2007. File:Julia island2.jpg. Wikipedia.org [viitattu 26.11.2009]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Julia_island2.jpg

Rantanen, M. 2001 - 2003. Kiehtovat fraktaalit. Mika Rantasen kotisivu [viitattu 19.10.2009]. Saatavissa: <http://www.uta.fi/~mika.t.rantanen/texts/fraktaalit.html>

Robinson, J. 2006. Landscapae Studio – About [viitattu 30.11.2009]. Saatavissa: <http://landscapestudio.omgames.co.uk/index.html>

Slijkerman, F. 1999 - 2007. Ultra Fractal: Features [viitattu 23.11.2009]. Saatavissa: <http://www.ultrafractal.com/features.html>

The evolution of "Late Afternoon". 1989. Ken Musgraven kotisivusto [viitattu 14.12.2009]. Saatavissa: http://www.kenmusgrave.com/late_afternoon.html

Ultra Fractal. 2009. Wikipedia.org [viitattu 23.11.2009]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra_Fractal

Kuvalähteet

Kuva 1. Sierpinskiin kolmio, jossa itsesimilaarisuus näkyy selvästi.
http://en.wikipedia.org/wiki/Sierpinski_triangle.

Kuva 2. Ympyrää suurennettaessa sen kehä alkaa muistuttaa suoraa viivaa.
<http://www.infinite-art.com/aboutfractals.html>.

Kuva 3. Cantorin joukko.
http://www.miqel.com/fractals_math_patterns/visual-math-iterative-fractals.html.

Kuva 4. Kochin lumihiutale.
<http://www.ccs.neu.edu/home/fell/COM1201/PROGRAMS/RecursiveFractals.html>.

Kuva 5. Lévy C -käyrän kahdeksan ensimmäistä iteraatiota.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Levy_C_construction.png.

Kuva 6. Mandelbrotin joukko.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mandel_zoom_00_mandelbrot_set.jpg.

Kuva 7. Julian joukot ovat monimuotoisia. Skannaus teoksesta: Peitgen, H. & Saupe, D. 1988. The Science of Fractal Images. Fig 4.3:8 Julia sets. Sivu 174.

Kuva 8. Esimerkkejä luonnosta löytyvistä fraktaaleista ovat muun muassa salamat, puiden oksistot ja verisuonistot.
<http://www.rogerolivella.net/insula/en/descripcio.htm>.

Kuva 9. Matemaattisten fraktaalien yksityiskohtaisuus säilyy suurennettaessa.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Fractal>.

Kuva 10. Apollonian joukko on eräs käänteisfraktaali.
http://www.mathworks.com/matlabcentral/figure_files/15987/2/apollonian_2D.png.

Kuva 11–13. Renderöinti Ultra Fractal -sovelluksella.

Kuva 14. Eräs Julian joukko renderöitynä maastoksi Terragen-ohjelmalla.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Julia_island2.jpg.

Kuva 15. Apophysis-ohjelman editorit.
http://en.wikipedia.org/wiki/Apophysis_%28software%29.

Kuva 16. Ultra Fractal -sovelluksen erikoisuutena on tasojen käyttö.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/45/Ultra_fractal_screenshot.jpg.

Kuva 17. Winamp-ohjelmassa fraktaalit saadaan liikkumaan musiikin tahdissa.
Kuvakaappaus Winamp-sovelluksesta.

Kuva 18. Fraktaalimaisema elokuvasta Star Trek II: The Wrath of Khan.
Skannaus teoksesta: Briggs, J. 1992. *Fractals The Patterns of Chaos*. Sivu 84.

Kuva 19. Landscape Studio -ohjelmalla voi tehdä realistisia maisemakuvia.
<http://landscapestudio.omgames.co.uk/screenshots.html>.

Kuva 20. Brycen käyttöliittymä.
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bryce5screenshot.jpg>.

Kuva 21. Midpoint displacement -menetelmällä saadaan luotua vuorimaisemia.
Skannaus teoksesta: Briggs, J. 1992. *Fractals The Patterns of Chaos*. Sivu 85.

Kuva 22. Rekursiivisella konstruktiolla luodaan kasveja.

Skannaus teoksesta: Briggs, J. 1992. *Factals The Patterns of Chaos*. Sivu 86.

Kuva 23. Diamond-square-algoritmin viisi ensimmäistä vaihetta.

Kuvakaappaus MDTerrain-ohjelmasta.

Kuva 24. Maastonpinta kahden ja kuuden iteraation jälkeen.

Kuvakaappaus MDTerrain-ohjelmasta.

Kuva 25. Neljä erilaista renderöintiä samasta maisemasta.

Kuvakollaasi sivulta: http://www.kenmusgrave.com/late_afternoon.html.

Kuva 26. Kymmenen vuotta Ultra Fractal -ohjelmaa käyttäneen Samuel Monnierin taidonnäyte.

<http://www.ultrafractal.com/showcase/samuel/20080803.html>.

Kuva 27–40. Kuvakaappaus Ultra Fractal -ohjelmasta.

Kuva 41. Bryce-ohjelmalla voi mallintaa muutakin kuin maisemia.

<http://www-cache.daz3d.com/sections/galleries/artwork/52/8608.jpg>.

LIITTEET

LIITE 1: Cd-levy, joka sisältää opinnäytetyön PDF-muodossa, suomen- ja englanninkielisen tiivistelmän RTF-muodossa sekä kopiot työssä käytetyistä verkkodokumenteista.